

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“INCERTIDUMBRE EN LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS DE CUENCAS DE MONTAÑA DEBIDA A LA EXTENSIÓN DE LA MUESTRA DE DATOS: APLICACIÓN A LAS CUENCAS DE LOS RÍOS YANUNCAY, TOMEBAMBA Y MAZAR”

Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Ambiental

AUTOR:

DIEGO PATRICIO QUINTUÑA CARANGUI
C.I. 0302391339

DIRECTOR:

ING. ROLANDO ENRIQUE CÉLLERI ALVEAR, PhD
C.I. 0602794406

CUENCA – ECUADOR
2018



Resumen

La importancia de tomar en cuenta la incertidumbre en los estudios hidrológicos ha tomado gran relevancia en los últimos años debido a su influencia en los resultados de las estimaciones ya sea de índices o de extremos hidrológicos. Por ello, el análisis adecuado de la incertidumbre permitirá tomar adecuadamente decisiones al momento de destinar los resultados para investigaciones y programas ambientales y de diseño de obras hidráulicas. El objetivo de este proyecto fue analizar la incertidumbre generada por el efecto de disponer o no de un periodo de datos amplio. Este análisis se realizó en las cuencas los ríos Tomebamba, Yanuncay y Mazar, subcuencas del río Paute, de los cuales se obtuvieron mediciones de caudales registradas desde los años 70 hasta el año 1992 por las instituciones INAMHI y ETAPA EP de la ciudad de Cuenca. Se realizó un estudio de series temporales obteniendo índices estadísticos hidrológicos para cada serie. Como resultados se obtuvieron distribuciones de caudales que indican el comportamiento de los índices estadísticos según la serie temporal para distintos intervalos de confianza lo cual permitió cuantificar la incertidumbre generada en las estimaciones para los tres ríos. Los dos ríos de montaña (Yanuncay y Tomebamba) tuvieron un comportamiento más disperso en cuanto a su distribución de índices hidrológicos para las series temporales establecidas, mientras que el río de bosque (Mazar) presentó una distribución más homogénea.

Palabras clave: *Incertidumbre, estudios hidrológicos, series temporales, índices hidrológicos, cuencas de montaña.*



Abstract.

The importance of taking into account the uncertainty in hydrological studies has taken great relevance in recent years due to its influence on the results of the estimations, either of indices or hydrological extremes. For this reason, the adequate analysis of the uncertainty will make it possible to take appropriate decisions when allocating the results for research and environmental programs and for the design of hydraulic works. The objective of this project was to analyze the uncertainty generated by the effect of having a large data period or not. This analysis was carried out in the basins of the Tomebamba, Yanuncay and Mazar rivers, sub-basins of the Paute River, from which measurements of flows recorded from the 1970s to the year 1992 were obtained by the INAMHI and ETAPA EP institutions of the city of Cuenca. A study of time series was executed, obtaining hydrological statistical indices for each series. As a result, flow distributions were obtained that indicate the behavior of the statistical indices according to the time series for different confidence intervals, which allowed to quantify the uncertainty generated in the estimates for the three rivers. The two Mountain Rivers (Yanuncay and Tomebamba) had a more dispersed behavior in terms of their distribution of hydrological indices for the established time series, while the forest river (Mazar) presented a more homogeneous distribution based on the established time series.

Key words: *Uncertainty, hydrological studies, Time series, Hydrological qualifiers, Mountain basins.*



Contenido

1.	Introducción	12
1.1	Importancia del estudio.	12
1.2	Justificación.	13
1.3	Objetivos	14
1.3.1	Objetivo general.	14
1.3.2	Objetivos específicos.	14
1.4	Contenido teórico.	14
2.	Materiales y métodos	16
2.1	Descripción de las Cuencas.	16
2.1.1	Ubicación geográfica de las cuencas de los ríos Yanuncay, Tomebamba y Mazar	18
2.2	Descripción de la información.	18
2.2.1	Origen de los datos.	18
2.2.2	Descripción de las series de tiempo.	19
2.3	Selección de estaciones y periodo de análisis.	19
2.3.1	Río Yanuncay	19
2.3.2	Río Tomebamba	19
2.3.3	Río Mazar	20
2.4	Descripción de la metodología utilizada en el estudio.	21
2.4.1	Análisis de datos.	21
2.4.2	Muestreo de datos.	22
2.4.3	Identificación, selección y cálculo de índices estadísticos.	23
2.4.4	Comparación de índices hidrológicos.	24
2.4.5	Análisis de la incertidumbre presente en el cálculo de índices hidrológicos.	26
3.	Resultados y discusión.	26
3.1	Series temporales generales.	26
4.	Conclusiones.	42
5.	Bibliografía.	45
6.	Anexos.	50
	Anexo 1.	50
	Anexo 2	55
	Anexo 3	67



Índice de figuras

Figura 1: Mapa de ubicación de las subcuencas de los ríos Yanuncay, Tomebamba y Mazar. ...	18
Figura 2: Hidrograma, Estación Tres Puentes Yanuncay.....	19
Figura 3: Hidrograma, Estación Matadero Tomebamba.....	20
Figura 4: Hidrograma, Estación Mazar.....	20
Figura 5 Entorno de programación para el cálculo de los estadísticos Q min, Q medio, Q máximo y cuartiles para la serie general de 26 años de la estación Yanuncay.	23
Figura 6 Ejemplo de bandas de incertidumbre para el Caudal medio de la estación Yanuncay.	24
Figura 7 Caudal Medio para la estación Yanuncay.	27
Figura 8 Caudal Medio para la estación Matadero.....	27
Figura 9 Caudal Medio para la estación Mazar.....	28
Figura 10: Caudal máximo para la estación Yanuncay.....	38
Figura 11: Caudal máximo para la estación Matadero.	38
Figura 12: Caudal máximo para la estación Mazar.	38
Figura 13: Caudal mínimo estación Yanuncay.	50
Figura 14: Caudal mínimo estación Matadero.....	50
Figura 15: Caudal mínimo estación Mazar.....	51
Figura 16: Cuartil 25 para la estación Yanuncay.	51
Figura 17: Cuartil 25 para la estación Matadero.....	51
Figura 18: Cuartil 25 para la estación Mazar.....	52
Figura 19: Cuartil 50 para la estación Yanuncay.	52
Figura 20: Cuartil 50 para la estación Matadero.....	53
Figura 21: Cuartil 50 para la estación Mazar.....	53
Figura 22: Cuartil 75 para la estación Yanuncay.	54
Figura 23: Cuartil 75 para la estación Matadero.....	54
Figura 24: Cuartil 75 para la estación Mazar.....	54



Índice de tablas

Tabla 1: Características generales de los ríos Yanuncay, Tomebamba y Mazar.....	17
Tabla 2: Ejemplo de los datos analizados para la estación Yanuncay.....	21
Tabla 3: Índices hidrológicos para las estaciones Yanuncay, Matadero y Mazar con las series de mayor duración.....	26
Tabla 4: Caudal medio para la estación Yanuncay.....	29
Tabla 5: Distribución de muestras para cada banda de incertidumbre para la estación Yanuncay.....	29
Tabla 6: Caudal medio para la estación Matadero.....	32
Tabla 7: Distribución de muestras para cada banda de incertidumbre para la estación Matadero.....	32
Tabla 8: Caudal medio para la estación Mazar.....	35
Tabla 9: Distribución de muestras para cada banda de incertidumbre para la estación Mazar.....	35
Tabla 10: Caudal máximo para la estación Yanuncay.....	39
Tabla 11: Distribución de muestras para la banda de incertidumbre -20% para la estación Yanuncay.....	39
Tabla 12: Caudal máximo para la estación Matadero.....	40
Tabla 13: Distribución de muestras para la banda de incertidumbre -20% para la estación Matadero.....	40
Tabla 14: Caudal máximo para la estación Mazar.....	40
Tabla 15: Distribución de muestras para la banda de incertidumbre -20% para la estación Mazar.....	40
Tabla 16: Intervalo de confianza para el caudal mínimo de la estación Yanuncay.....	55
Tabla 17: Distribución de muestras para la banda 20% para la estación Yanuncay.....	55
Tabla 18: Intervalo de confianza para el caudal mínimo de la estación Matadero.....	55
Tabla 19: Distribución de muestras para la banda 20% para la estación Matadero.....	55
Tabla 20: Intervalo de confianza para el caudal mínimo de la estación Mazar.....	56
Tabla 21: Distribución de muestras para la banda 20% para la estación Mazar.....	56
Tabla 22: Intervalos de confianza para el cuartil 25 de la estación Yanuncay.....	57
Tabla 23: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Yanuncay.....	57
Tabla 24: Intervalos de confianza para el cuartil 25 de la estación Matadero.....	58
Tabla 25: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Matadero.....	58
Tabla 26: Intervalos de confianza para el cuartil 25 de la estación Mazar.....	59
Tabla 27: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Mazar.....	59
Tabla 28: Intervalos de confianza para el cuartil 50 de la estación Yanuncay.....	60
Tabla 29: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Yanuncay.....	60
Tabla 30: Intervalos de confianza para el cuartil 50 de la estación Matadero.....	61
Tabla 31: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Matadero.....	61
Tabla 32: Intervalos de confianza para el cuartil 50 de la estación Mazar.....	62
Tabla 33: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Mazar.....	62
Tabla 34: Intervalos de confianza para el cuartil 75 de la estación Yanuncay.....	63
Tabla 35: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Yanuncay.....	63



Tabla 36: Intervalos de confianza para el cuartil 75 de la estación Matadero.	64
Tabla 37: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Matadero.	64
Tabla 38: Intervalos de confianza para el cuartil 75 de la estación Mazar.	65
Tabla 39: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Mazar. ...	65



Cláusulas de licencia y autorización para publicar en el Repositorio Institucional.

Yo, Diego Patricio Quintuña Carangui, autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “INCERTIDUMBRE EN LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS DE CUENCAS DE MONTAÑA DEBIDA A LA EXTENSIÓN DE LA MUESTRA DE DATOS, APLICACIÓN A LAS CUENCAS DE LOS RÍOS YANUNCAY, TOMBAMBAMBA Y MAZAR.”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD, CONOCIMIENTO E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 4 de mayo de 2018

Diego Patricio Quintuña Carangui

C.I: 0302391339



Cláusulas de propiedad intelectual

Yo, Diego Patricio Quintuña Carangui, autor del trabajo de titulación “INCERTIDUMBRE EN LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS DE CUENCAS DE MONTAÑA DEBIDA A LA EXTENSIÓN DE LA MUESTRA DE DATOS, APLICACIÓN A LAS CUENCAS DE LOS RÍOS YANUNCAY, TOMBAMBA Y MAZAR.”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 4 de mayo del 2018

Diego Patricio Quintuña Carangui

C.I: 0302391339



Agradecimiento

A mi esposa, Cecilia, a mis hermanos José y Erika, y a mis padres, José y Lourdes, por su incesante apoyo durante toda mi vida universitaria, por el aliento incondicional otorgado durante los momentos más difíciles de este trayecto, y sobre todo, por estar siempre a mi lado en todos los aspectos de mi vida.

Un sincero agradecimiento a mi tutor y director, el Ing. Rolando Célleri Alvear PhD, Director del Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales-iDRHICA de la Universidad de Cuenca, por compartirme sus valiosos conocimientos, y cuya dirección y paciencia propiciaron el desarrollo del presente estudio. Al Ing. Diego Urdiales Flores MSc. así mismo por su conocimiento, apoyo e interés en la elaboración de este trabajo como codirector.

Al Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales-iDRHICA de la Universidad de Cuenca, al Ing. Galo Carrillo e Ing. Alex Avilés PhD, miembros del tribunal de tesis y en especial a la Ing. Johanna Orellana Alvear PhD, por colaborar con sus conocimientos en el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos y compañeros, por todo el apoyo, amistad y todos los buenos momentos que pasamos durante nuestra vida universitaria.

Finalmente agradezco a todas las personas que me brindaron su apoyo y conocimientos durante este trayecto.



Dedicatoria.

El presente trabajo se lo dedico a mis hijos, Blas Sebastián y Diego Leonardo, quienes fueron los pilares fundamentales y la principal fuente de inspiración para continuar con mis estudios superiores, por la inocencia, el cariño y el amor sincero que me brindan cada día de mi vida.

“La mediocridad para algunos es normal, la locura es poder ver más allá”

Charly García



1. Introducción

1.1 Importancia del estudio.

La incertidumbre es la incerteza que se tiene al momento de estimar la ocurrencia de un evento hidrológico determinado en un estudio (Cuevas, 2008). Es un concepto metrológico fundamental que se relaciona con la precisión cuando se obtienen resultados analíticos basados en mediciones (Muzik, 2002). Técnicamente, la incertidumbre se refiere a la estimación estadística de la magnitud del error (Abernethy, Benedict, & Dowdell, 1985). La aplicación práctica de medición y análisis de incertidumbre contribuirá a mejorar la certeza en la estimación de índices hidrológicos para la disponibilidad de agua (Riccardi, 2000), manejo de recursos hídricos, y la estimación de niveles de caudal de diseño de infraestructura hidráulica destinada a la protección de las comunidades que habitan en las cuencas hidrográficas en contra de inundaciones y lluvias torrenciales (Francisco, 2015).

Todo estudio hidrológico tiene su incertidumbre (González García, 1989), la cual puede ser provocada por la mala calidad de los datos, por usar un modelo probabilístico erróneo que no captura plenamente el comportamiento real de los datos medidos, etc. Sin embargo, otra fuente de incertidumbre parte del uso de datos limitados (Botero, 2008), series de tiempo muy cortas, que probablemente no capturan toda la variabilidad en la respuesta de una cuenca (Pizarro T, Soto B, Farias D, & Jordan D, 2005). El problema se origina cuando se realizan estudios hidrológicos de estimaciones con series temporales muy cortas y se llegan a identificar caudales de diseño con una alta incertidumbre (Roy, Das, Ambure, & Aher, 2016). En principio, mientras más larga es la serie de tiempo, más confiable es un estudio (Sorooshian, Duan, & Gupta, 1993). Lamentablemente, no siempre se disponen de series largas; por otro lado, existen estaciones hidrometeorológicas que en algún momento fueron retiradas por lo que se cuenta únicamente con series parciales de mediciones (Laprida & Valero-Garcés, 2009); o también ocurre que para nuevos proyectos se instalan equipos al momento justo de iniciar el proyecto y se debe dar un diseño en corto plazo con un periodo de datos de medición demasiado corto y niveles altos de incertidumbre (Otero, Ruiz-Villarreal, Peliz, & Cabanas, 2010). En los últimos años se ha incrementado el interés en la evaluación de la incertidumbre presente en los estudios hidrológicos y el análisis de sus posibles efectos en los proyectos de modelización y diseño hídrico (Clemente et al., 2015). La incertidumbre ha sido reconocida por ser de suma importancia en la comunicación con los actores involucrados en las cuencas hidrográficas y juega un papel muy importante en el contexto de predicción y análisis de cuencas hidrográficas (Rojas Sigala, Pérez, & Guadalupe, 2015) no estudiadas. Debido a estas razones, el análisis de la



incertidumbre es una de las actividades clave lanzada en 2003 por la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas (Sotomayor, 2007).

1.2 Justificación.

Todo proyecto de uso y aprovechamiento de recursos hídricos requiere de la realización de cálculos y estimaciones de índices hidrológicos, tales como los caudales mínimos y máximos que describen el exceso y déficit hidrológico en una cuenca hidrográfica específica (Castro, Adriana, & Bermúdez Bermúdez, 2016). Dichos índices hidrológicos determinan la respuesta hídrica de una cuenca, sus características ambientales de acuerdo al manejo e influencia antrópica de la que es sujeto y las épocas de sequía e inundaciones en las zonas que conforman la cuenca en cuestión (Tallaksen & Lanen, 2004).

Realizar una estimación correcta de los índices hidrológicos dentro de una cuenca permite llevar a cabo un correcto dimensionamiento de obras hidráulicas tales como presas, cuencas de disipación, aliviaderos, etc. o tomar medidas de protección ambiental de fuentes hídricas con el objeto de asegurar que las obras no sean sobredimensionadas ni subdimensionadas y asegurar la disponibilidad del recurso hídrico para futuras generaciones (Escobar, 2016).

Al no contar con series de tiempo lo suficientemente largas, por lo general, en los proyectos hidrológicos las estimaciones de caudales se llevan a cabo utilizando bancos de datos con pocos años (Jalbert, Mathevet, & Favre, 2011). Debido a esto se desconoce si habrá problemas de dimensionamiento en las fases posteriores de los proyectos. Por lo tanto un estudio sobre el efecto de la extensión de la serie de caudales sobre las estimaciones de índices hidrológicos es de gran importancia para la sociedad debido a que con dichos estudios se podrán conocer los posibles errores e incertidumbres que pueden darse al no contar con series de tiempo largas, esto a su vez repercutirá en una optimización de los recursos tanto socioeconómicos como ambientales, ya que con los resultados de estas estimaciones se podrá dar paso a un correcto dimensionamiento de obras y proyectos hidráulicos (Cadavid & Salazar, 2008). Los beneficiarios de los resultados de este estudio de gran relevancia serán todos los habitantes de las cuencas en cuestión, además de todas las personas que habitan en los centros urbanos de la ciudad de Cuenca, quienes dependen del recurso hídrico proveniente de las cuencas de los ríos Yanuncay, Tomebamba y Mazar. Además los resultados del proyecto podrán ser utilizados como una guía para otras provincias o ciudades que posean cuencas hidrográficas con características similares, lo cual tendría un gran impacto local, regional e incluso internacional.



1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Analizar la incertidumbre generada en los estudios hidrológicos de cuencas de montaña a causa de la extensión de la muestra: aplicación a los ríos Tomebamba, Yanuncay y Mazar.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Identificar y calcular índices hidrológicos en las cuencas hidrográficas de los ríos Tomebamba, Yanuncay y Mazar para juegos de datos de 1, 2, 5, 10 y 15 años.
- Realizar un análisis de la incertidumbre en las estimaciones de los índices hidrológicos calculados para cada río de acuerdo al periodo de datos utilizado en el estudio.

1.4 Contenido teórico.

Precipitación.

La precipitación es una variable climática con una gran variabilidad, tanto espacial como temporal, cuyo análisis de tendencia a escala regional requiere la disponibilidad de un número suficiente de series cronológicas que cubran una amplia extensión temporal (Lorente & Portugués, 1999). La reducción de la incertidumbre en la modelación hidrológica está relacionada directamente con la selección del valor apropiado de los parámetros de cada modelo (Romero, Romero, & Casimiro, 2015).

Estudios hidrológicos.

Los procesos hidrológicos involucrados en la transformación lluvia-caudal han sido ampliamente estudiados por científicos para desarrollo del conocimiento y por ingenieros para diseño hidráulico de los sistemas de drenaje y fluvial (Singh & Frevert, 2005). Los procesos reales son ciertamente complejos involucrando gran cantidad de mecanismos y en general se los simula mediante modelos que contemplan distintos grados de aproximación a la dinámica física del mecanismo (Jiménez et al., 2001). Para todos los estudios de las condiciones ambientales de cuencas hidrográficas, evaluación y aprovechamiento de recursos hídricos es necesario realizar estimaciones de caudales: caudales (Q) picos, base, medios, Q para ciertos períodos de retorno (flood frequency prediction), etc (Alegría, Déniz, & Polo, s. f.).

Incetidumbre.

Se define la incertidumbre como el grado de variabilidad que se genera en el hidrograma de escorrentía al tomar un parámetro móvil frente a los otros fijos, de esta manera la envolvente



superior e inferior de todos los hidrogramas resultantes dan cuenta del rango de incertidumbre que genera el parámetro en estudio (Vargas & Monroy, 2012).

La reducción de la incertidumbre en la modelación hidrológica está relacionada directamente con la selección del valor apropiado de los parámetros de cada modelo (Besteiro, 2014) y en estudios de diseño con el conocimiento sobre el efecto de contar por series suficientemente largas.

Estudio de análisis de series temporales.

Según (Jiménez et al., 2001) en su trabajo “Estudio de variaciones climáticas e hidrológicas ocurridas durante el último siglo a partir del análisis correlatorio y espectral de series temporales de datos registrados en el sur de la Península Ibérica.”, se estudian las variaciones climáticas e hidrológicas que han podido tener lugar durante los últimos 117-166 años en el Sur de la Península Ibérica. Para ello se ha aplicado el análisis correlatorio y espectral a series de datos mensuales: precipitación en las estaciones de Gibraltar y San Fernando (Cádiz), temperatura en la estación de San Fernando y caudal del manantial de El Tempul (Sierra de las cabras, Cádiz). Los resultados obtenidos indican que, en todas las variables hidrometeorológicas consideradas, existen periodicidades anuales y quinquenales de claro origen climático. Sin embargo, con los datos disponibles, no se ha podido constatar la existencia de tendencias climáticas a largo plazo.

Estudio de estimación de eventos extremos de caudal.

Un problema persistente en hidrología es la estimación de las descargas máximas con fines de diseño en las cuencas hidrográficas cuyos datos disponibles son limitados. Un acercamiento prometedor a este problema es la curva derivada de la frecuencia de la inundación iniciada por Eagleson (Blazkov & Beven, 1997). En los últimos 20 años se han publicado varios estudios que utilizan este enfoque, pero sólo unos pocos han comparado las curvas predichas con las observaciones. Una excepción usó un simple modelo de precipitación estocástica para conducir una versión de TOPMODEL, lo cual sin embargo tampoco está exenta de problemas de estimación y de incertidumbre.

Según el estudio realizado por (Blazkov & Beven, 1997) ‘Predicción de la frecuencia de inundación para las cuencas limitadas de datos en la República Checa utilizando un modelo de precipitación estocástica y TOPMODEL’, se describe una nueva versión del simulador estocástico de lluvias previamente utilizado con TOPMODEL y su aplicación en tres pequeñas cuencas (1,87, 4,75 y 25,81 km²) en las montañas Jizera, República Checa. El modelo de lluvia realiza una



diferenciación entre eventos de intensidad alta y baja. Las estadísticas de precipitación resultantes se verificaron mediante comparaciones con datos medidos.

Estudio de incertidumbre en la estimación de flujos alto-andinos.

Según el estudio “Incertidumbre en la estimación de la descarga de flujos alto-andinos” por (García Parra, Eduardo Peña Rojas, Barrios, & Múnera, 2016) las mediciones hidrológicas en los flujos alto-andinos involucra retos para la estimación de descargas, causados por su comportamiento torrencial y gran variabilidad de flujo. Desde que los datos son recolectados en el campo, es imprescindible describir las características hidráulicas específicas de un flujo, pero más importante aún, considerar el número de observaciones (eventos) registrados durante un periodo de tiempo (serie temporal) para evaluar la probabilidad de cometer errores al momento de estimar índices hidrológicos (análisis de incertidumbre) según el número de observaciones disponible.

Análisis cuantitativo de incertidumbre en estudios hidrológicos.

Para el estudio “Incertidumbre en las observaciones de descarga de ríos: un análisis cuantitativo” propuesto por (Di Baldassarre & Montanari, 2009) propone un entorno de trabajo para analizar y cuantificar la incertidumbre en los datos de caudal de un río. Cada incertidumbre es a menudo considerada insignificante en comparación con otras aproximaciones afectando los estudios hidrológicos. Este estudio se enfoca en analizar las fuentes de incertidumbre usando una metodología original basada en simulaciones hidráulicas que usa una curva de evaluación de incertidumbre.

Si bien es posible usar modelos para realizar estos estudios es mejor partir de datos observados. De esta manera las incertidumbres se asociarán directamente a las observaciones, eliminando las incertidumbres causadas por el tipo de modelo empleado, su calibración y su validación. Es por ello que en este estudio se utilizará este enfoque observacional para realizar una cuantificación muy concreta de los problemas causados por una serie de datos de corta duración.

2. Materiales y métodos

2.1 Descripción de las Cuencas.

Los ríos sobre los que está enfocado este estudio son: Yanuncay, Tomebamba y Mazar, cuyas cuencas se caracterizan en la siguiente tabla:

Tabla 1: Características generales de los ríos Yanuncay, Tomebamba y Mazar.

	Río Tomebamba	Río Yanuncay	Río Mazar
Área de la cuenca (km ²)	338.32	413.90	165.77
Caudal pico más alto registrado de la serie general (m ³ /s)	108.00	257.00	160.00
Caudal promedio de la serie general (m ³ /s)	7.53	4.94	5.91
Caudal mínimo de la serie general (m ³ /s)	0.23	0.03	0.34
Elevación a la salida de la cuenca (msnm)	2480	2560	2000
Elevación del punto más alto de la cuenca (msnm)	4400	4280	4040
Cobertura vegetal	Bosque nativo, eucaliptos, páramo, pasto, bosque de polylepis, cultivos. Al salir del Parque Nacional El Cajas, el río recorre zonas ganaderas, asentamientos humanos dispersos y áreas destinadas al turismo y a la actividad piscícola.	El bosque nativo ha desaparecido de la mayor parte de la cuenca, laderas cubiertas de pastos. Superficies cubiertas de chaparros, frecuentemente quemados para incrementar las zonas de pasto para el ganado. Poblados dispersos en la parte alta y media de la cuenca con incipiente actividad turística y piscícola.	Las formaciones vegetales presentes son el bosque de neblina montano, el bosque siempre verde montano alto, páramo arbustivo y el páramo herbáceo. Los pastos plantados, el maíz y las papas son los principales elementos que componen el paisaje.

Fuente: el autor.

2.1.1 Ubicación geográfica de las cuencas de los ríos Yanuncay, Tomebamba y Mazar

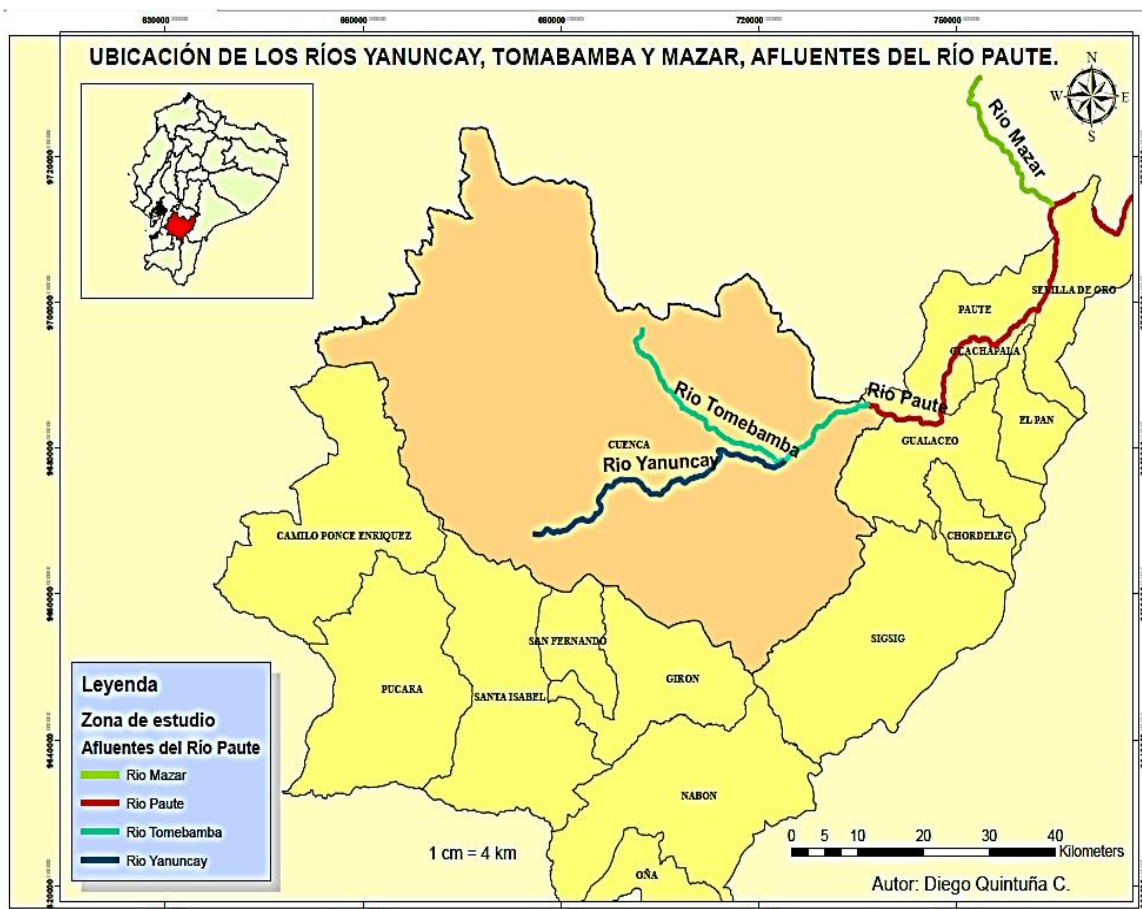


Figura 1: Mapa de ubicación de las subcuencas de los ríos Yanuncay, Tomebamba y Mazar.

Fuente: El autor.

2.2 Descripción de la información.

2.2.1 Origen de los datos.

Los datos de medición de caudal pertenecientes a las subcuencas consideradas para el estudio se obtuvieron de bases de datos pertenecientes al INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) desde los años 60 y, ETAPA EP (Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado de Cuenca) desde finales de los años 90. Cabe indicar que los datos con los que se cuenta se caracterizan por haber sido medidos 2 veces por día en el caso de las estaciones pertenecientes a INAMHI cuyas estaciones son manuales, y cada 5 minutos por las estaciones automáticas pertenecientes a ETAPA EP. Dichos datos están fechados desde el año 1964 al año 1989 en el caso del río Yanuncay, 1964 a 1992 en el caso del río Tomebamba y 1972 a 1992 en el caso del río Mazar.

2.2.2 Descripción de las series de tiempo.

Los datos de caudal pertenecientes a los 3 ríos en general presentan muchas irregularidades en los intervalos de registro, presentando vacíos de datos que varían desde 5 minutos hasta algunas horas, incluso la presencia de días enteros sin registro de caudal alguno. Por este motivo, sumando la escasez de estaciones de medición de caudal en cada uno de los ríos, no fue posible aplicar alguna de las metodologías propuestas por varios investigadores para completar los datos faltantes (Morales, Pereira, & Bolaños, 2011). De los días con registros completos se promediaron los caudales para hacerlos diarios, y de esta manera establecer el porcentaje de registros utilizables, así como su distribución temporal, lo cual indicará si existe una baja densidad de datos en la serie general o la inexistencia de datos en un periodo específico (Niu, 1997). Todo esto con el objeto de conocer las condiciones en que se hallan los registros para escoger los periodos adecuados para la realización de este estudio.

2.3 Selección de estaciones y periodo de análisis.

2.3.1 Río Yanuncay

Se cuenta con datos aportados por la estación Hidrológica Tres Puentes, con un periodo de datos de medición de caudal registrado desde el 5 de junio de 1964 hasta el 31 de diciembre de 1989. Se presenta la distribución de caudales del río Yanuncay a continuación (*Figura 2*)

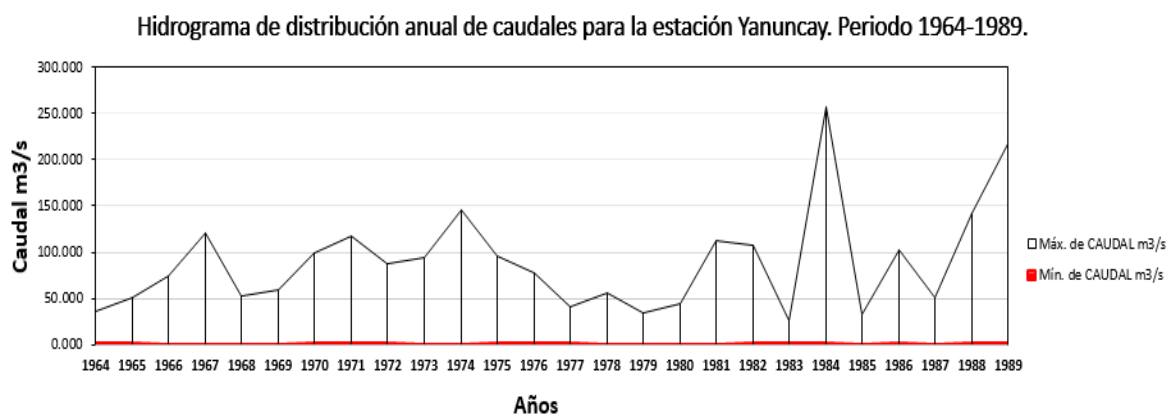


Figura 2: Hidrograma, Estación Tres Puentes Yanuncay.

Fuente: el autor.

2.3.2 Río Tomebamba

El río Tomebamba cuenta con la estación Hidrológica Matadero en Sayausí con un periodo de datos de medición registrado desde el 21 de abril de 1964 hasta el 31 de mayo de 1992. Se presenta la distribución de caudales del río Tomebamba a continuación (*Figura 3*)

Hidrograma de distribución anual de caudales para la estación Matadero. Periodo 1964-1992.

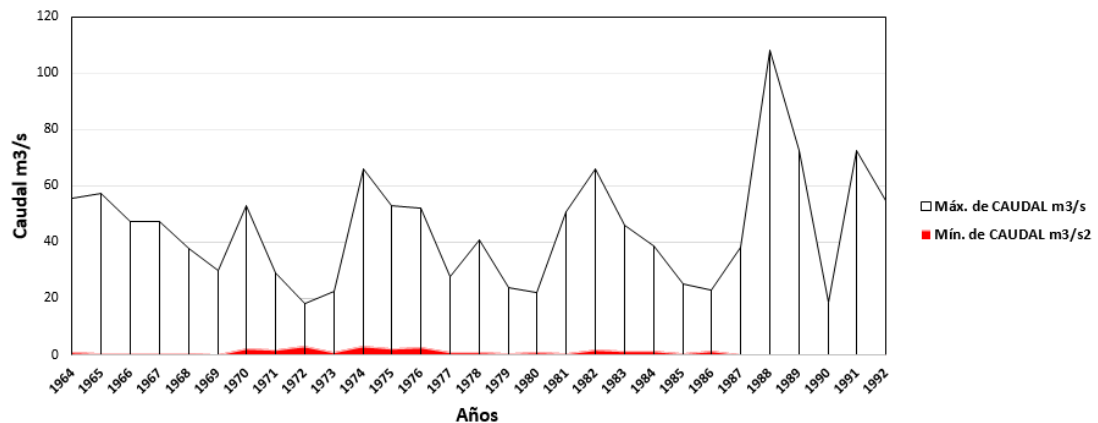


Figura 3: Hidrograma, Estación Matadero Tomebamba.

Fuente: el autor.

2.3.3 Río Mazar

El río Mazar cuenta con la estación Hidrológica Mazar, cuenta con un registro de mediciones de caudal con un periodo que va desde el 17 de septiembre de 1972 hasta el 31 de enero de 1992. Se presenta la distribución de caudales del río Mazar a continuación (Figura 4)

Hidrograma de distribución anual de caudales para la estación Mazar. Periodo 1990-1992.



Figura 4: Hidrograma, Estación Mazar.

Fuente: el autor.

Para las 3 estaciones de caudal que se utilizaron en el presente estudio existen datos diarios registrados por las tres estaciones ubicadas en las cuencas de los ríos en cuestión. Los eventos de mayor magnitud registrados para los tres ríos en estudio corresponden a los años 1984 y 1989 para el río Yanuncay, y 1988 para los ríos Tomebamba y Mazar. En 1988 se produjo una

creciente en el río Tomebamba, con el desbordamiento del río en diferentes sectores de la ciudad de Cuenca; el 19 de junio de 1989 se registra una crecida en el río Yanuncay (Zeas, 2007).

2.4 Descripción de la metodología utilizada en el estudio.

2.4.1 Análisis de datos.

Este es considerado como un paso preliminar de la metodología utilizada. La información utilizada en este estudio fue sometida a un proceso de revisión, en el cual se identificaron posibles errores que pudieran interferir con los resultados finales del estudio (Varas C. & Uc, 2015). Mediante la hoja de cálculo Microsoft Excel se analizaron los datos de cada río, identificando errores como registros de datos repetidos, especialmente en la estación de Yanuncay, donde cada dato registrado por la estación estaba repetido. Así mismo se identificaron caudales máximos en las 3 estaciones (de hasta 257 m³/s en la estación Yanuncay por ejemplo) los mismos que fueron corroborados como eventos reales que sucedieron históricamente (la crecida de los ríos Yanuncay y Tomebamba en 1988) los cuales se pueden evidenciar visualmente en los hidrogramas de caudal de cada río (*véase figuras 2, 3, 4*). Como siguiente paso, una vez analizada la información, se procedió a preparar la base de datos en Excel para consecuentemente trabajar en el entorno de programación RStudio, el cual fue utilizado de aquí en adelante para los siguientes procedimientos del estudio. Cabe mencionar que en el registro de datos aportado por la estación Mazar existe una ausencia de mediciones en el año 1984.

Tabla 2: Ejemplo de los datos analizados para la estación Yanuncay.

	FECHA	DIA	MES	ANIO	CAUDAL.m ³ .s
1	5/6/1964	5	6	1964	9.63
2	5/6/1964	5	6	1964	8.73
3	6/6/1964	6	6	1964	10.40
4	6/6/1964	6	6	1964	13.50
5	7/6/1964	7	6	1964	11.60
6	7/6/1964	7	6	1964	10.00
7	8/6/1964	8	6	1964	9.63
8	8/6/1964	8	6	1964	8.73
9	9/6/1964	9	6	1964	8.13
10	9/6/1964	9	6	1964	5.03
Showing 1 to 11 of 12,254 entries					

Fuente: el autor.



2.4.2 Muestreo de datos.

La herramienta RStudio fue fundamental en este paso ya que mediante su interface de programación se llevó a cabo el muestreo consecutivo de las distintas series temporales de 1, 2, 5, 10 y 15 años utilizados en el presente estudio. Para ello se desarrolló un script en base a los datos de las series temporales generales, es decir, los 26 años de datos registrados por la estación Yanuncay durante el periodo 1964-1989, los 29 años de datos para la estación Matadero durante el periodo 1964-1992 y los 20 años de datos para la estación Mazar durante el periodo 1972-1992. Cada una de las series generales antes mencionadas se consideraron como la muestra principal de datos medidos, por ejemplo la serie de 26 años de la estación Yanuncay fue la muestra principal o de mayor extensión la cual sirvió como referencia para la posterior comparación entre las estimaciones de las muestras de menor extensión; para dicha muestra principal se calcularon los estadígrafos caudal mínimo (Q.mín), caudal medio (Q.med), caudal máximo (Q.máx) y los cuartiles: cuartil 25 (C25), cuartil 50 (C50) (mediana) y cuartil 75 (C75) (Olden & Poff, 2003), (véase figura 5). Como podemos observar en el entorno de programación indicado en la figura 5, la serie general de 26 años contiene el grupo de caudales en el periodo 1964-1989, en este caso es el periodo general de datos con una extensión de 26 años. El proceso para las series de un año se realizó de manera similar, con la diferencia de que el grupo de caudales considerado en este muestreo perteneció individualmente a cada año (Carrera-Villacrés et al., 2016), es decir, se consideraron los caudales registrados únicamente en el año 1964, y se llevó a cabo el mismo procedimiento para armar cada muestra anual. El muestreo de 2, 5, 10 y 15 años se realizó utilizando la misma línea de programación indicada en el anexo 3 modificando únicamente la cantidad de años consecutivamente hasta formar las muestras con la extensión adecuada para el estudio (por ejemplo para obtener una muestra de 5 años debemos poner el periodo 1964:1968 en la respectiva línea de comando y RStudio ejecutará automáticamente el muestreo que corresponde a un periodo de cinco años). Este proceso fue fundamental ya que el muestreo de las series temporales fue la base de este estudio y que gracias a RStudio se logró ejecutar de manera eficiente (Juan Carlos Campuzano, 11:13:58 UTC). Este proceso no hubiera sido posible de ejecutar fácilmente en la hoja de cálculo Excel debido a la cantidad de datos y tiempo que hubiera tomado su ejecución. Finalmente, mediante otra línea de comando, RStudio generó un archivo csv en el cual se detallaron las muestras con su respectiva duración y datos de mediciones para cada estadígrafo estimado. Dependiendo del tipo de muestreo podemos obtener varios resultados por lo que el presente estudio deja las puertas abiertas para su continuación.

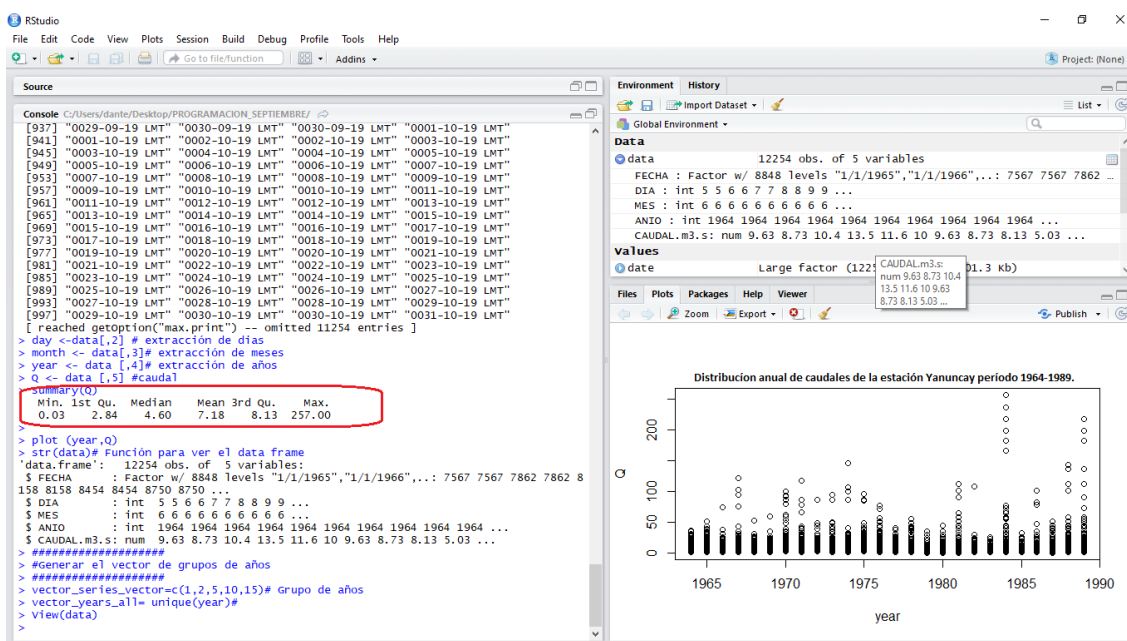


Figura 5 Entorno de programación para el cálculo de los estadísticos Q min, Q medio, Q máximo y cuartiles para la serie general de 26 años de la estación Yanuncay.

Fuente: El autor.

2.4.3 Identificación, selección y cálculo de índices estadísticos.

La utilidad de los índices hidrológicos para describir varios aspectos de los regímenes de caudal ha resultado en el incremento de su aplicación en la investigación hidrológica. Consecuentemente en la actualidad, los investigadores afrontan la tarea de tener que escoger de entre un gran número de índices hidrológicos competentes para reducir el esfuerzo computacional y la redundancia de las variables previa a los análisis estadísticos, sin dejar de representar adecuadamente las principales facetas del régimen de flujo (Olden & Poff, 2003).

Mediante otra línea de comando dentro del script principal se procedió a calcular los respectivos estadígrafos (índices estadísticos) para cada serie de tiempo general de cada río, dichos estadígrafos fueron: Q.min, Q.med, Q.máx, y los C25, C50 Y C75.

Los estadígrafos (Índices hidrológicos) seleccionados para este estudio fueron: Q.min, Q.med, Q.máx, C25, C50, C75; dichos índices fueron calculados mediante una línea de comando específica dentro del script general desarrollado en RStudio (véase *anexo 3*) para cada serie temporal establecida para cada río. Los índices Q.min, Q.med, Q. máx, son medidas de tendencia central ampliamente utilizadas en estudios hidrológicos que describen estadísticamente la variabilidad de los datos correspondientes a cada serie temporal (Zucarelli, 2013). De la misma manera, los cuartiles, que son medidas de posición no central, dividen el conjunto de observaciones en cuatro partes iguales, siendo por tanto tres puntos denotados

como C25, C50 o mediana y C75, los mismos que facilitan el análisis de los datos de cada serie temporal y amplían las posibilidades de análisis de la incertidumbre presente en el cálculo de los mismos (Olden & Poff, 2003). La deficiencia de datos en el año 1984 para la estación Mazar no influyó en el cálculo posterior de estadígrafos para las series temporales de este río ya que RStudio asume dicha ausencia como inexistente lo cual no influye en los resultados finales. Para mayor detalle de este procedimiento, referirse al script general que se encuentra en el anexo 3.

2.4.4 Comparación de índices hidrológicos.

Para la comparación entre índices, en primer lugar se procedió a establecer bandas de incertidumbre (Carías, Chacón, & Martínez, 2004) mediante la herramienta de diseño *Grapher 10* a manera de intervalos de confianza para cada estadígrafo estimado utilizando la serie completa de caudales en cada río como punto principal de referencia. Es decir, utilizando los 26 años de caudales del río Yanuncay se calculó el Q.med y los intervalos de confianza (bandas de incertidumbre) para dicho caudal. Los intervalos de confianza establecidos fueron decididos en base a los resultados obtenidos de la programación; dichos intervalos fueron: 5%, 10%, 15% y 20%. Los niveles superior e inferior del estadígrafo se calcularon aumentando o disminuyendo el porcentaje respecto al valor del estadígrafo calculado. Se realizó este procedimiento para cada estadígrafo calculado en cada río y se identificaron las muestras que entraron dentro de cada banda de incertidumbre (véase *Figura 6*).

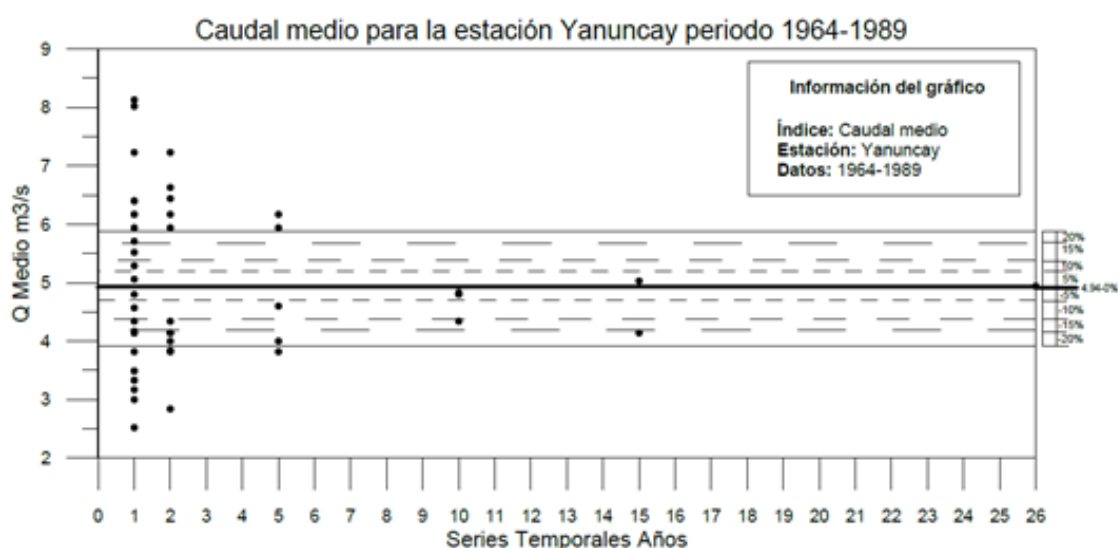


Figura 6 Ejemplo de bandas de incertidumbre para el Caudal medio de la estación Yanuncay.

Una vez obtenidos los estadígrafos y con sus respectivas bandas de incertidumbre se procedió a identificar aquellos valores de los estadígrafos calculados para muestras de menor extensión



Universidad de Cuenca

(1, 2, 5, 10 y 15 años) que entraron dentro de las respectivas bandas y aquellos que estuvieron fuera. Además, se identificaron los años a los cuales perteneció cada muestra y se definió el porcentaje de error y el porcentaje de ocurrencia para cada una de ellas.

2.4.5 Análisis de la incertidumbre presente en el cálculo de índices hidrológicos.

Para el análisis de la incertidumbre se identificaron el número de muestras perteneciente a cada estadígrafo (Hosking, 1990) y cuantas de estas muestras entraron en las bandas de incertidumbre establecidas en las gráficas de distribución obtenidas con el objeto de determinar con qué juego de datos se podría realizar una estimación correcta; es decir, con qué serie temporal, según el número de muestras para cada estadígrafo calculado, se podría realizar un estudio hidrológico (O'Laoghaire, 2012). En este paso se compararon las tablas y los gráficos con los datos de incertidumbre de cada estadígrafo, haciendo énfasis en los índices Q.med y Q.máx, los cuales fueron considerados de mayor importancia para el presente estudio.

3. Resultados y discusión.

3.1 Series temporales generales.

Los índices hidrológicos calculados para las series generales de tiempo para las tres estaciones se indican en la siguiente tabla:

Tabla 3: Índices hidrológicos para las estaciones Yanuncay, Matadero y Mazar con las series de mayor duración.

Índices hidrológicos	Estación Yanuncay (serie de 26 años)	Estación Matadero Tomebamba (serie de 29 años)	Estación Mazar (serie de 20 años)
QMin m³/s	0.03	0.23	0.34
Qmean m³/s	4.938	7.532	5.921
QMax m³/s	257	108	160
C25 m³/s	2.84	3.55	3.37
C50 m³/s	4.6	5.73	4.98
C75 m³/s	8.13	9.5	6.96

Fuente: el autor.

A continuación se muestran los estadígrafos de Q.med pertenecientes a las tres estaciones:

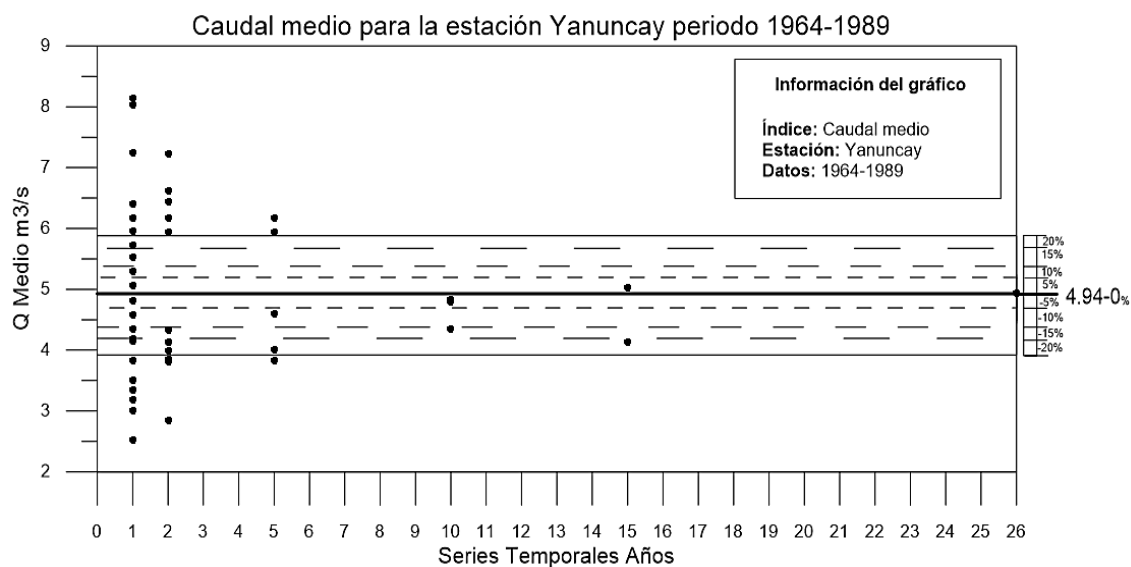


Figura 7 Caudal Medio para la estación Yanuncay.

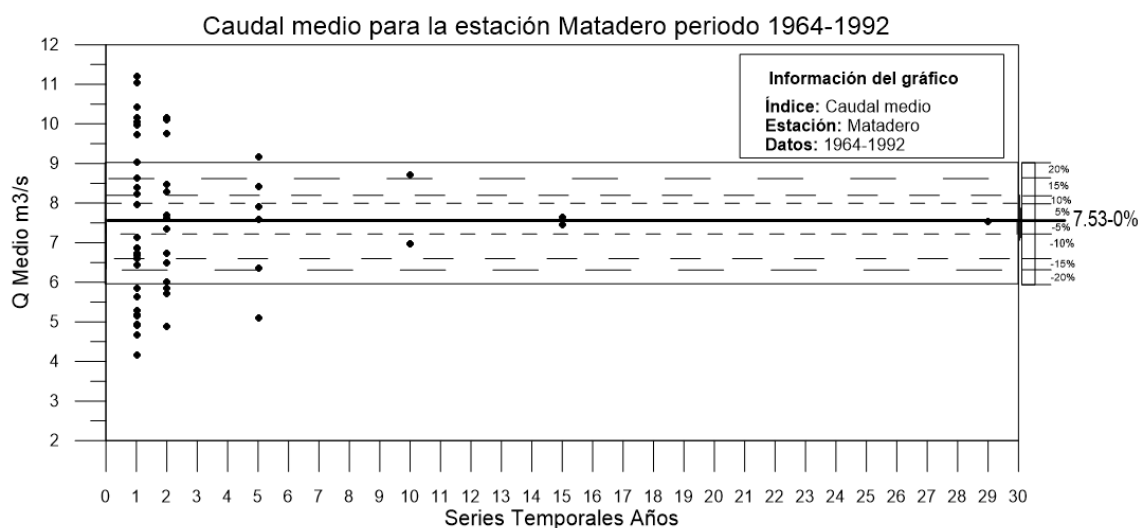


Figura 8 Caudal Medio para la estación Matadero.

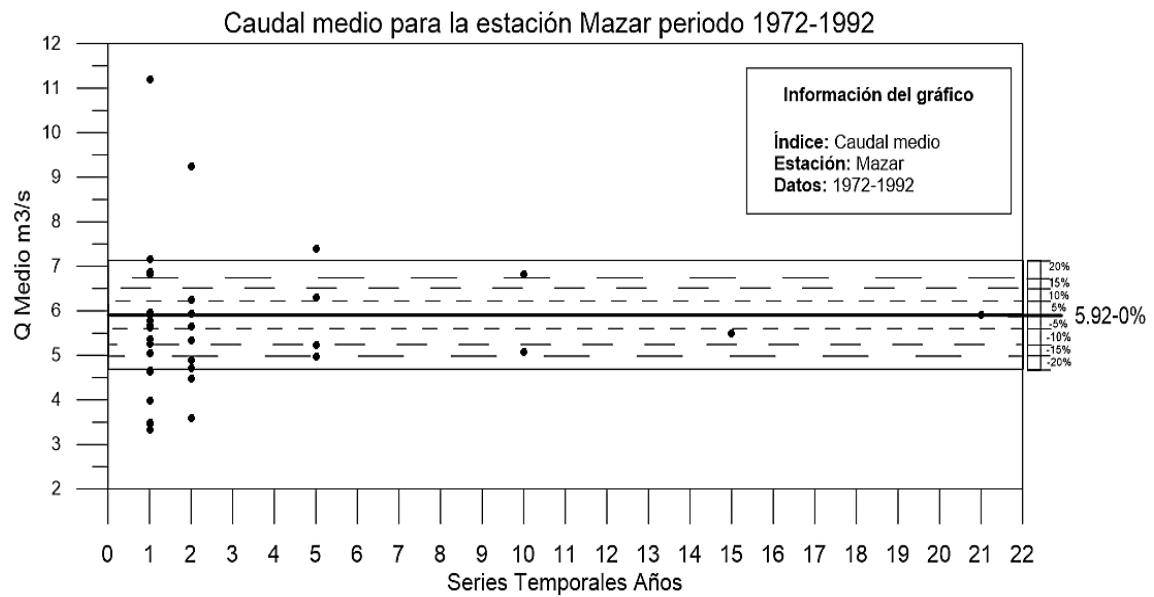


Figura 9 Caudal Medio para la estación Mazar.

La cantidad de muestras que entran o no en cada intervalo de confianza se detalla en las *Tablas 7, 9 y 11* las cuales interpretan de manera clara los gráficos de distribución de caudales de cada estadígrafo al igual que indican las series temporales muestreadas, el grado de error en la estimación y los años a los cuales pertenecen las muestras que entraron dentro de cada intervalo de confianza:

Tabla 4: Caudal medio para la estación Yanuncay.

Caudal medio de la serie total para la estación Yanuncay				
Q.med=4.93 m³/s				
I. Confianza	5%	10%	15%	20%
%	0.24	0.49	0.74	0.98
Q.med+%	5.18	5.43	5.67	5.92
Q.med-%	4.69	4.44	4.19	3.94

Tabla 5: Distribución de muestras para cada banda de incertidumbre para la estación Yanuncay.

Periodo 1964-1989		Banda de incertidumbre 5%			Banda de incertidumbre 10%			Banda de incertidumbre 15%			Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Total de Muestras	No. de muestras que entran en la banda 5%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 10%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 15%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error	Años
1	26	3	88.50	64, 67, 80	4	84.62	65, 67, 80, 84	6	76.92	64, 65, 67, 69, 80, 84, 88	10	61.50	64, 65, 67, 69, 76, 80, 83, 84, 86, 88
2	13	0	100.00	0	0	100.00	0	1	92.31	64 a 65	5	61.50	64 a 65, 65 a 66, 72 a 73, 74 a 75, 75 a 76
5	5	0	100.00	0	1	80.00	68 a 72	1	80.00	68 a 72	2	60.00	64 a 68, 68 a 72
10	3	2	33.33	64 a 73, 66 a 75	2	33.33	64 a 73, 66 a 75	3	0.00	64 a 73, 65 a 74, 66 a 75	3	0.00	64 a 73, 65 a 74, 66 a 75
15	2	1	50.00	64 a 78	1	50.00	64 a 78	1	50.00	64 a 78	2	0.00	64 a 78, 65 a 79
26	1	1	0.00	64 a 89	1	0.00	64 a 89	1	76.92	64 a 89	1	0.00	64 a 89

Como podemos observar en la *Tabla 4* el valor obtenido del estadígrafo Q.med de la estación Yanuncay para la serie general de 26 años fue de $4.93 \text{ m}^3/\text{s}$, el 5% de dicho valor calculado fue de $0.24 \text{ m}^3/\text{s}$, este valor fue añadido al Qmedio original para obtener el intervalo de confianza de +5% con un valor de $5.18 \text{ m}^3/\text{s}$, del mismo modo se le restó el mismo valor del 5% al Qmedio para establecer el intervalo de confianza de -5% con un valor de $4.69 \text{ m}^3/\text{s}$, estableciendo de esta manera la Banda de Incertidumbre $\pm 5\%$ para el estadígrafo Q.med de la estación Yanuncay. Este procedimiento se aplicó a todos los intervalos de confianza considerados en este estudio, obteniendo finalmente las bandas de incertidumbre del 5%, 10%, 15% y 20% para cada estadígrafo de la estación Yanuncay.

La *Tabla 5* indica que dentro de la banda de incertidumbre $\pm 5\%$ del Q.med para la estación Yanuncay se identificaron 3 de las 26 muestras del periodo 1964-1989 (series de un año), con un porcentaje de ocurrencia del 11.54% y con un porcentaje de error del 88.5% considerando que las 26 muestras analizadas para las series temporales representan el 100%.

Para las series de 2 años se identificaron 0 muestras dentro de la banda $\pm 5\%$ al igual que las muestras de 5 años; en cuanto a las muestras de 10 años se identificaron 2 muestras dentro de esta banda obteniendo un porcentaje de ocurrencia del 66.67% y un porcentaje de error del 33.33%; se identificó 1 muestra de 15 años dentro de la misma banda dando como resultado un porcentaje de ocurrencia del 50% y un error del 50%. Finalmente se identificó una muestra de 26 años dentro de la misma banda perteneciendo a la serie general de datos, presentando un porcentaje de ocurrencia del 100% y un error del 0%.

Para la banda 10% se identificaron 4 muestras de 1 año con un porcentaje de ocurrencia del 15.38% y un error del 84.62%; se identificaron 0 muestras de 2 años; se observa 1 muestra de 5 años con 20% de ocurrencia y 80% de error; tenemos 2 muestras de 10 años con un 66.67% de ocurrencia y 33.33% de error; tenemos 1 muestra de 15 años con una ocurrencia de 50% y un error de 50% y finalmente tenemos la muestra general de 26 años con una ocurrencia del 100% y un error del 0.00%.

Para la banda 15% se identificaron 6 muestras de un año con un porcentaje de ocurrencia del 23.08% y un error del 76.92%, tenemos 1 muestra de 2 años con un 7.69% de ocurrencia y un 92.31% de error, tenemos 1 muestra de 5 años con un 20% de ocurrencia y un 80% de error, tenemos 3 muestras de 10 años con una ocurrencia del 100% y 0.00% de error; existe una muestra de 15 años con un 50% de ocurrencia y un 50% de error y finalmente una muestra general de 26 años con una ocurrencia del 100% y un error del 0.00%.



Universidad de Cuenca

Para la banda del 20% de incertidumbre se identificaron 10 muestras anuales con una ocurrencia del 38.46% y un error del 61.54%; observamos 5 muestras de 2 años con un 38.46% de ocurrencia y un error del 61.54%, tenemos 2 muestras de 5 años con un 40% de ocurrencia y un 60% de error; observamos 3 muestras de 10 años con una ocurrencia del 100% y 0.00% de error, lo mismo sucede con las muestras de 15 y 26 años las cuales presentan un 100% de ocurrencia y un 0.00% de error dentro de esta banda de incertidumbre.

Tabla 6: Caudal medio para la estación Matadero.

Caudal medio de la serie total para la estación Matadero				
Q.med=7.53 m³/s				
I. Confianza	5%	10%	15%	20%
%	0.377	0.753	1.130	1.506
Q.med+%	7.909	8.285	8.662	9.038
Q.med-%	7.155	6.779	6.402	6.026

Tabla 7: Distribución de muestras para cada banda de incertidumbre para la estación Matadero.

Periodo 1964-1992		Banda de incertidumbre 5%			Banda de incertidumbre 10%			Banda de incertidumbre 15%			Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Total de Muestras	No. de muestras que entran en la banda 5%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 10%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 15%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	29	0	100.00	0	6	79.31	65, 69, 70, 72, 81, 87	12	58.62	64, 65, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 78, 81, 86, 87	13	55.17	64, 65, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 78, 81, 86, 87, 88
2	14	3	78.57	64 a 65, 67 a 68, 76 a 77	3	78.57	64 a 65, 67 a 68, 76 a 77	7	50.00	64 a 65, 67 a 68, 68 a 69, 72 a 73, 74 a 75, 76 a 77	7	50.00	64 a 65, 67 a 68, 68 a 69, 72 a 73, 74 a 75, 75 a 76, 76 a 77
5	6	1	83.33	65 a 69	2	66.67	65 a 69, 68 a 72	3	50.00	65 a 69, 67 a 71, 68 a 72	4	33.33	64 a 68, 65 a 69, 67 a 71, 68 a 72
10	3	0	100.00	0	2	33.33	64 a 73, 65 a 74	2	33.33	64 a 73, 66 a 75	3	0.00	64 a 73, 65 a 74, 66 a 75
15	2	2	0.00	64 a 78, 65 a 79	2	0.00	64 a 78, 65 a 79	2	0.00	64 a 78, 65 a 79	2	0.00	64 a 78, 65 a 79
29	1	1	0.00	64 a 92	1	0.00	64 a 92	1	0.00	64 a 92	1	0.00	64 a 92

En la *Tabla 6* se observa que el valor obtenido del estadígrafo Q_{medio} de la estación Matadero para la serie general de 29 años fue de $7.53 \text{ m}^3/\text{s}$, el 5% de dicho valor calculado fue de $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$, este valor fue añadido al Q_{medio} original para obtener el intervalo de confianza de +5% con un valor de $7.90 \text{ m}^3/\text{s}$, del mismo modo se le restó el mismo valor del 5% al Q_{medio} para establecer el intervalo de confianza de -5% con un valor de $7.15 \text{ m}^3/\text{s}$, estableciendo de esta manera la Banda de Incertidumbre +5% para el Estadígrafo Q_{medio} de la estación Yanuncay. Este procedimiento se aplicó a todos los intervalos de confianza considerados en este estudio, obteniendo finalmente las bandas de incertidumbre del 5%, 10%, 15% y 20% para cada estadígrafo de la estación Matadero..

La *Tabla 7* indica que dentro de la banda de incertidumbre +5% del Q_{med} para la estación Matadero se identificaron 0 de las 29 muestras del periodo 1964-1992 (series de un año), con un porcentaje de ocurrencia del 0.00% y con un porcentaje de error del 100% considerando que las 29 muestras analizadas para las series temporales representan el 100%; para las series de 2 años se identificaron 3 muestras dentro de la banda +5% con un porcentaje de ocurrencia del 21.43% y un error del 78.57%; en cuanto a las muestras de 5 años se identificó 1 muestra con una ocurrencia del 16.67% y un error del 83.33%; en cuanto a las muestras de 10 años se identificaron 0 muestras dentro de esta banda obteniendo un porcentaje de ocurrencia del 0.00% y un porcentaje de error del 100%; se identificaron 2 muestras de 15 años dentro de la misma banda dando como resultado un porcentaje de ocurrencia del 100% y un error del 0.00%. Finalmente se identificó una muestra de 29 años dentro de la misma banda perteneciendo a la serie general de datos, presentando un porcentaje de ocurrencia del 100% y un error del 0%.

Para la banda 10% se identificaron 6 muestras de 1 año con un porcentaje de ocurrencia del 20.69% y un error del 79.31%; se identificaron 3 muestras de 2 años con una ocurrencia del 21.43% y un error del 78.57%; se observa 2 muestras de 5 años con 33.33% de ocurrencia y 66.67% de error; tenemos 2 muestras de 10 años con un 66.67% de ocurrencia y 33.33% de error; tenemos 2 muestra2 de 15 años con una ocurrencia de 100% y un error de 0.00% y finalmente tenemos la muestra general de 29 años con una ocurrencia del 100% y un error del 0.00%.

Para la banda 15% se identificaron 12 muestras de un año con un porcentaje de ocurrencia del 41.38% y un error del 58.62%, tenemos 7 muestras de 2 años con un 50% de ocurrencia y un 50% de error, tenemos 3 muestras de 5 años con un 50% de ocurrencia y un 50% de error, tenemos 2 muestras de 10 años con una ocurrencia del 66.67% y 33.33% de error; existen 2



muestras de 15 años con un 100% de ocurrencia y un 0.00% de error y finalmente una muestra general de 29 años con una ocurrencia del 100% y un error del 0.00%.

Para la banda del 20% de incertidumbre se identificaron 13 muestras anuales con una ocurrencia del 44.83% y un error del 55.17%; observamos 7 muestras de 2 años con un 50% de ocurrencia y un error del 50%, tenemos 4 muestras de 5 años con un 66.67% de ocurrencia y un 33.33% de error; observamos 3 muestras de 10 años con una ocurrencia del 100% y 0.00% de error, lo mismo sucede con las muestras de 15 y 29 años las cuales presentan un 100% de ocurrencia y un 0.00% de error dentro de esta banda de incertidumbre.

Tabla 8: Caudal medio para la estación Mazar.

Caudal medio de la serie total para la estación Mazar				
Q.med= 5.92 m³/s				
I. Confianza %	5%	10%	15%	20%
	0.296	0.592	0.888	1.184
Q.med +%	6.217	6.513	6.809	7.105
Q.med -%	5.625	5.329	5.033	4.737

Tabla 9: Distribución de muestras para cada banda de incertidumbre para la estación Mazar.

Periodo 1972-1992		Banda de incertidumbre 5%			Banda de incertidumbre 10%			Banda de incertidumbre 15%			Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Total de Muestras	No. de muestras que entran en la banda 5%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 10%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 15%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	21	6	71.43	74, 75, 76, 77, 78, 85	7	66.67	74, 75, 76, 77, 78	11	47.62	72, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 82, 85, 86, 90	13	38.10	72, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 89, 90
2	10	2	80.00	73 a 74, 74 a 75	5	50.00	73 a 74, 74 a 75, 77 a 78, 78 a 79, 80 a 81	6	40.00	72 a 73, 73 a 74, 74 a 75, 75, 77 a 78, 78 a 79, 79, 80 a 81	7	30.00	72 a 73, 73 a 74, 74 a 75, 76 a 77, 77 a 78, 78 a 79, 80 a 81
5	4	0	100.00	0	1	75.00	74 a 79	2	50.00	72 a 76, 74 a 78	3	25.00	72 a 76, 73 a 77, 74 a 78
10	2	0	100.00	0	0	100.00	0	1	50.00	72 a 81	2	0.00	72 a 81, 73 a 82
15	1	0	100.00	0	1	0.00	72 a 81	1	0.00	72 a 81	1	0.00	72 a 86
21	1	1	0.00	72 a 92	1	0.00	72 a 86	1	0.00	72 a 86	1	0.00	72 a 92

El valor obtenido del estadígrafo Q_{medio} de la estación Mazar para la serie general de 21 años fue de $5.92 \text{ m}^3/\text{s}$, el 5% de dicho valor calculado fue de $0.296 \text{ m}^3/\text{s}$, este valor fue añadido al Q_{medio} original para obtener el intervalo de confianza de +5% con un valor de $6.217 \text{ m}^3/\text{s}$, del mismo modo se le restó el mismo valor del 5% al Q_{medio} para establecer el intervalo de confianza de -5% con un valor de $5.625 \text{ m}^3/\text{s}$, estableciendo de esta manera la Banda de Incertidumbre +5% para el Estadígrafo Q_{medio} de la estación Mazar. Este procedimiento se aplicó a todos los intervalos de confianza considerados en este estudio, obteniendo finalmente las bandas de incertidumbre del 5%, 10%, 15% y 20% para cada estadígrafo de la estación Mazar (véase Tabla 8).

Dentro de la banda de incertidumbre $\pm 5\%$ del Q_{med} para la estación Mazar se identificaron 6 de las 21 muestras del periodo 1972-1992 (series de un año), con un porcentaje de ocurrencia del 28.57% y con un porcentaje de error del 71.43% considerando que las 29 muestras analizadas para las series temporales representan el 100%; para las series de 2 años se identificaron 2 muestras dentro de la banda $\pm 5\%$ con un porcentaje de ocurrencia del 20% y un error del 80%; en cuanto a las muestras de 5 años se identificaron 0 muestras con una ocurrencia del 0.00% y un error del 100%; en cuanto a las muestras de 10 años se identificaron 0 muestras dentro de esta banda obteniendo un porcentaje de ocurrencia del 0.00% y un porcentaje de error del 100%; se identificaron 0 muestras de 15 años dentro de la misma banda dando como resultado un porcentaje de ocurrencia del 0.00% y un error del 100%. Finalmente se identificó una muestra de 21 años dentro de la misma banda perteneciendo a la serie general de datos, presentando un porcentaje de ocurrencia del 100% y un error del 0%.

Para la banda 10% se identificaron 7 muestras de 1 año con un porcentaje de ocurrencia del 33.33% y un error del 66.67%; se identificaron 5 muestras de 2 años con una ocurrencia del 50% y un error del 50%; se observa 1 muestra de 5 años con 25% de ocurrencia y 75% de error; tenemos 0 muestras de 10 años con un 0.00% de ocurrencia y 100% de error; tenemos 1 muestra de 15 años con una ocurrencia de 100% y un error de 0.00% y finalmente tenemos la muestra general de 21 años con una ocurrencia del 100% y un error del 0.00%.

Para la banda 15% se identificaron 11 muestras de un año con un porcentaje de ocurrencia del 52.38% y un error del 47.62%, tenemos 6 muestras de 2 años con un 60% de ocurrencia y un 40% de error, tenemos 2 muestras de 5 años con un 50% de ocurrencia y un 50% de error, tenemos 1 muestra de 10 años con una ocurrencia del 50% y 50% de error; existe 1 muestra de 15 años con un 100% de ocurrencia y un 0.00% de error y finalmente una muestra general de 21 años con una ocurrencia del 100% y un error del 0.00%.



Para la banda del 20% de incertidumbre se identificaron 13 muestras anuales con una ocurrencia del 61.90% y un error del 38.10%; observamos 7 muestras de 2 años con un 70% de ocurrencia y un error del 30%, tenemos 3 muestras de 5 años con un 75% de ocurrencia y un 25% de error; observamos 2 muestras de 10 años con una ocurrencia del 100% y 0.00% de error, lo mismo sucede con las muestras de 15 y 21 años las cuales presentan un 100% de ocurrencia y un 0.00% de error dentro de esta banda de incertidumbre.

A continuación se lleva a cabo el procedimiento aplicado anteriormente para el análisis del Q.med de las tres estaciones hidrológicas, pero esta vez haciendo énfasis en el Q.máx de cada estación: los puntos que se pueden observar en cada gráfico del Q.máx temporal y denotan los años húmedos ocurridos a lo largo de los registros de caudal para cada estación.

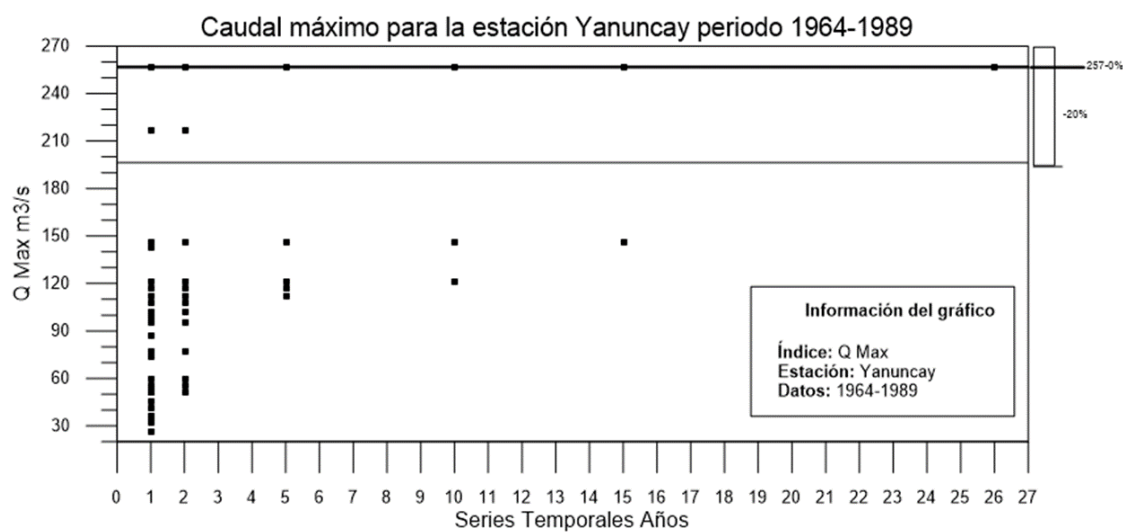


Figura 10: Caudal máximo para la estación Yanuncay.

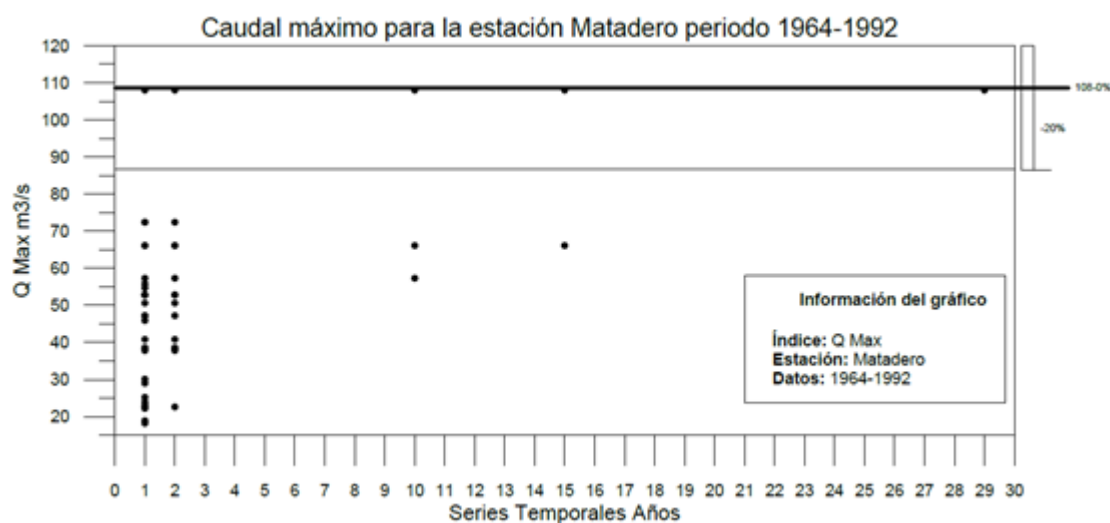


Figura 11: Caudal máximo para la estación Matadero.

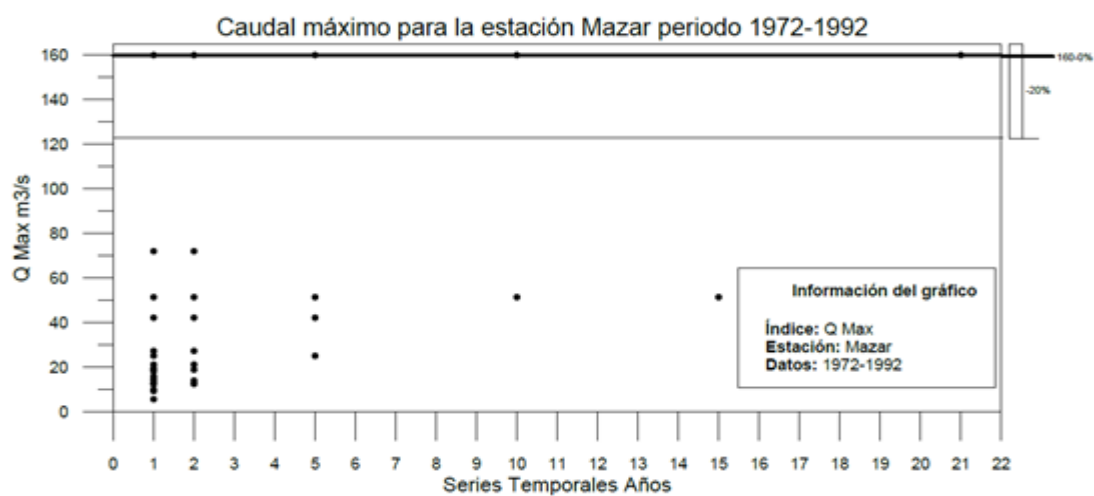


Figura 12: Caudal máximo para la estación Mazar.



En las figuras 10, 11 y 12 se pueden observar los índices Q.máx para cada estación, las bandas de incertidumbre fueron establecidas en base al Q.máx de la serie general de cada estación (véase tabla 5). En el caso del Q.máx, únicamente se definió el intervalo de confianza -20% debido a que las muestras no están presentes en las bandas 5%, 10% y 15%.

A continuación se observan las respectivas tablas de distribución de muestras en cada banda para cada estación:

Tabla 10: Caudal máximo para la estación Yanuncay.

Caudal máximo de la serie total para la estación Yanuncay	
Q.máx =257 m ³ /s	
I. Confianza	20%
%	51.40
Q.máx +%	308.40
Q.máx -%	205.60

Tabla 11: Distribución de muestras para la banda de incertidumbre -20% para la estación Yanuncay.

Periodo 1964-1989		Banda de incertidumbre 20%		
Serie Temporales (años)	No. Muestras	No. De muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	26	2	96.15	1984-1989
2	13	2	92.31	74 a 75-76 a 77
5	5	1	80.00	68 a 72
10	3	1	66.67	66 a 75
15	2	1	50.00	65 a 79
26	1	1	0.00	64 a 89

Tabla 12: Caudal máximo para la estación Matadero.

Caudal máximo de la serie total para la estación Matadero	
Q.máx =108 m3/s	
I. Confianza	20%
%	21.600
Q.máx +%	129.600
Q.máx -%	86.400

Tabla 13: Distribución de muestras para la banda de incertidumbre -20% para la estación Matadero.

Periodo 1964-1992		Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Muestras	No. de muestras dentro de la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	29	1	96.55	88
2	14	1	92.86	76 a 77
5	6	1	83.33	68 a 72
10	3	1	66.67	66 a 75
15	2	1	50.00	66 a 80
29	1	1	0.00	64 a 92

Tabla 14: Caudal máximo para la estación Mazar.

Caudal máximo de la serie total para la estación Mazar	
Q.máx =160 m3/s	
I. Confianza	20%
%	32.000
Q.máx +%	192.000
Q.máx -%	128.000

Tabla 15: Distribución de muestras para la banda de incertidumbre -20% para la estación Mazar.

Periodo 1972-1992		Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Muestras	No. de muestras dentro de la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	21	1	95.24	89
2	10	1	90.00	80 a 82
5	4	1	75.00	75 a 79
10	2	1	100.00	73 a 82
15	1	0	0.00	0
21	1	1	0.00	72 a 92



Para cada serie temporal se calcularon 6 índices estadísticos, y para el presente estudio se analizan los Q.med y Q.máx ya que son los más representativos, los estadígrafos Q.min y los cuartiles (C25, C50 Y C75) también fueron analizados, los mismos que están detallados en el anexo 2.

Para todas las muestras se organizó la información de tal modo que las gráficas de los estadígrafos indiquen claramente las series temporales, las muestras (eventos de caudal) y las bandas de incertidumbre establecidas para cada índice, además, de las respectivas tablas para cada estadígrafo por medio de las cuales se presenta la cuantificación de la incertidumbre presente en la estimación de cada estadígrafo.

Como se puede observar, en las figuras 7, 8 y 9 que representan el Q.med de las tres estaciones, existe una relación directa entre el valor del estadígrafo de la serie temporal y la cantidad de muestras, es decir, mientras más amplio es el periodo de datos de las series temporales, más muestras se van acercando al valor de la serie total; para la estación Yanuncay el Q.med registrado fue de $4.937 \text{ m}^3/\text{s}$, para la estación Matadero el Q.med fue de $6.98 \text{ m}^3/\text{s}$ y para la estación Mazar el Q.med fue de $5.92 \text{ m}^3/\text{s}$, como podemos ver, no existe una diferencia demasiado marcada para estos valores, lo cual indica que los 3 ríos han tenido un comportamiento similar durante el periodo de estudio. Los ríos Yanuncay y Tomebamba los cuales provienen de una cuenca de páramo son los más diferenciados en cuanto a su Q.med, esta diferencia indica el grado de influencia sobre cada cuenca, mientras que el río Mazar, proveniente de una cuenca de bosque presenta una menor variación en la distribución de las muestras anuales. En cuanto al Q.máx para los 3 ríos se registraron $257 \text{ m}^3/\text{s}$ para Yanuncay, $108 \text{ m}^3/\text{s}$ para Matadero y $160 \text{ m}^3/\text{s}$ para Mazar, existe una variación bastante marcada entre estos valores, especialmente entre la estación Yanuncay y las estaciones Matadero y Mazar, siendo el caudal máximo de Yanuncay mucho más alto que las demás estaciones, pero en este punto hay que tomar en cuenta que la cuenca del río Yanuncay es más grande, y por lo tanto, se espera que la magnitud de caudal sea mayor que en las demás.

Las bandas establecidas de incertidumbre del 5, 10, 15 y 20% para el Q.med en los tres ríos fueron definidas en base a las mediciones de Q.med y Q.máx para las tres estaciones, cabe resaltar que para el Q.máx de los tres ríos se definió únicamente la banda 20% debido a que no se encontraron muestras en las otras bandas de incertidumbre; mientras más amplio es el intervalo de confianza establecido, mayor es el número de muestras que entran para el estudio. El ancho de las bandas de confianza establecidas en cada estadígrafo indica el grado de incertidumbre aceptable para cada muestra que entra en la banda. La incertidumbre en la



estimación de los índices hidrológicos aumenta o disminuye dependiendo de la amplitud de la banda, debido a que no existe un valor estandarizado de incertidumbre aceptable en estudios hidrológicos se definieron estos 4 intervalos de confianza para poder cuantificar y analizar dicha incertidumbre. Las tablas que detallan las muestras que entran en cada banda de incertidumbre se encuentran en el anexo 2 para mayor información. Es importante mencionar que la banda de confianza del 5% es la que menor incertidumbre presenta en las estimaciones pero, como se puede evidenciar en las gráficas de distribución, es la banda donde hay menor presencia de muestras, lo cual nos indica que las únicas muestras que entran dentro de esta banda son las que más se aproximan al valor real, es decir, al valor de los estadígrafos pertenecientes a la serie de mayor extensión.

Cabe recalcar que el muestreo llevado a cabo en RStudio fue consecutivo no acumulativo, se realizó de esta manera para evitar el traslape de las muestras generadas para cada serie temporal y evitar tener resultados repetidos o redundantes, los años que corresponden a cada muestra indican el año donde se registra el evento y en que banda de incertidumbre entraría al momento de la estimación. Además, al tener en cuenta valores promedio para cada serie temporal los años indicados en las tablas para cada estadígrafo indican los años involucrados en cálculo del valor medio para cada estadígrafo y el valor obtenido para cada serie temporal, estos no se traslapan, únicamente indican que muestras pertenecientes a determinados años entran en cada banda de incertidumbre.

4. Conclusiones.

Los índices hidrológicos calculados para el análisis de la incertidumbre presente en las mediciones de caudal de los ríos Tomebamba, Yanuncay y Mazar fueron: Caudal Mínimo, Caudal Medio, Caudal Máximo y cuartiles C25, C50 y C75. El estadígrafo Caudal Medio (Q.med) calculado para los tres ríos demuestra con mayor representatividad el grado de impacto de la extensión de la series temporales presente en la estimación de índices hidrológicos, tal y como se puede observar en las tablas de distribución de muestras para cada banda de incertidumbre para cada estación de cada rio donde mientras mayor sea el número de muestras dentro de cada banda menor es el grado de error que se presenta en las estimaciones y viceversa, pero haciendo énfasis en aquellas muestras que caen dentro del intervalo de confianza del 5% el mismo que contiene las muestras que más se aproximan al valor real de la muestra general de datos.



En una sola serie de tiempo pueden tenerse características modificadas de la cuenca en cuestión dependiendo de su amplitud, como es el caso de la cuenca del Yanuncay cuyos caudales medios anuales se encuentran más dispersos de la media de la serie de 26 años, por lo que es difícil llegar a conclusiones concretas, sin embargo, aunque se tengan series de datos lo suficientemente amplias, pueden haberse generado errores en alguna parte del proceso repercutiendo en la existencia de algún grado de incertidumbre en la estimación de índices hidrológicos.

Teniendo en cuenta los años húmedos y secos presentes en el periodo de medición de caudal de las tres cuencas se puede dar paso a un análisis de riesgo, es decir, inundaciones, sequías, fallas de presas, etc, ya que se pueden analizar e identificar los procesos en los que requieran más atención y análisis profundo, no solo de eventos extremos de caudal sino también otras variables hidrológicas que pueden ser determinantes y sensibles a cambios en una cuenca de montaña o de bosque como lo es el caso de la cuenca del río Mazar.

Como conclusión final se tiene que la disponibilidad de series temporales más amplias de datos contribuye a minimizar la incertidumbre presente en las estimaciones, de esta manera se tendrá mayor confiabilidad en el diseño de estructuras hidráulicas o intervenciones en la cuenca, sin olvidar que la distribución de las muestras en cada serie temporal nos indica las condiciones de la cuenca y nos da una idea del manejo que se le está dando, por lo que, basándonos en los resultados obtenidos en este estudio, sería idóneo trabajar con juegos de años lo suficientemente amplios (series de tiempo de 5 años como mínimo, dependiendo de la magnitud del estudio a realizar) para evitar el sobredimensionamiento o el subdimensionamiento de obras hidráulicas o la ocurrencia de errores graves en la estimación de índices hidrológicos.

Estudios futuros.

Para corroborar los resultados obtenidos en este estudio, en futuras investigaciones se debería analizar si los estudios de diseño cuentan con datos de medición de caudales lo suficientemente amplios y consistentes, además, se debería hacer énfasis en el estudio de niveles de incertidumbre aceptable en el dimensionamiento de obras hidráulicas y de estudios hidrológicos. Es importante tener en cuenta también el tipo de muestreo que se puede emplear en estudios de estimación de índices hidrológicos, ya que suponiendo la uniformidad o la variabilidad en la distribución de los datos de medición se podrá determinar de una u otra manera el grado de incertidumbre presente en las estimaciones por lo que sería recomendable



Universidad de Cuenca

realizar un muestro aleatorio para realizar una comparación entre los resultados de las estimaciones obtenidas en este estudio y estudios futuros.



5. Bibliografía.

- Abernethy, R. B., Benedict, R. P., & Dowdell, R. B. (1985). ASME Measurement Uncertainty. *Journal of Fluids Engineering*, 107(2), 161-164. <https://doi.org/10.1115/1.3242450>
- Alegría, J. M. S., Déniz, E. G., & Polo, F. J. V. (s. f.). Estadística actuarial : teoría y aplicaciones / J.M. Sarabia Alegría, E. Gómez Déniz, F.J. Vázquez Polo. *ResearchGate*. Recuperado a partir https://www.researchgate.net/publication/49109503_Estadistica_actuarial_teor%C3%ADa_y_aplicaciones_JM_Sarabia_Alegria_E_Gomez_Deniz_FJ_Vazquez_Polo
- Besteiro, S. (2014, marzo 17). *Evaluación de la influencia hidrológica de forestaciones en la llanura pampeana* (Tesis). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/10915/33806>
- Blazkov, S., & Beven, K. (1997). Flood frequency prediction for data limited catchments in the Czech Republic using a stochastic rainfall model and TOPMODEL. *Journal of Hydrology*, 195(1), 256-278. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03238-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03238-6)
- Botero, A. (2008). Análisis espacio temporal de la lluvia en la cuenca de la quebrada San Luis-Manizales. Recuperado 28 de octubre de 2016, a partir de http://idea.manizales.unal.edu.co/jdownloads/Boletn%20Meteorol%C3%93gico/Red%20Manizales/Documentos%20y%20publicaciones/Tesis%20de%20grado/analisis_espacio_temporal_de_la_lluvia_en_la_cuenca_de_la_quebrada_san_luis.pdf
- Cadavid, J. M., & Salazar, J. E. (2008). GENERACIÓN DE SERIES SINTÉTICAS DE CAUDALES USANDO UN MODELO MATALAS CON MEDIAS CONDICIONADAS. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 0(17). Recuperado a partir de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/9285>
- Carías, B., Chacón, E., & Martínez, M. (2004). Validación de metodologías para la estimación de caudales máximos en El Salvador. Recuperado 10 de noviembre de 2016, a partir de



[http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis_descargables/validacion_de_metodologias_p
ara_el_calculo_de_caudales_maximos_en_El_Salvador.pdf](http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis_descargables/validacion_de_metodologias_para_el_calculo_de_caudales_maximos_en_El_Salvador.pdf)

Carrera-Villacr es, D. V., Guevara-García, P. V., Tamayo-Bacacela, L. C., Balarezo-Aguilar, A. L., Narváez-Rivera, C. A., & Morocho-López, D. R. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y c culo de la precipitación media. *Idesia (Arica)*, 34(3), 81-90. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300010>

Castro, A., Adriana, K., & Bermúdez Bermúdez, J. (2016). Determinación del Caudal Máximo para Diseño del Puente en la Quebrada Tuaneca sobre la Vía Siachoque – Toca. Recuperado a partir de <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3885>

Clemente, M., Rodrigo, C., Sosa Ramírez, J., Maass Moreno, M., Ruíz, L., Jesús, J. de, ... Flores Ancira, E. (2015). Comparación de métodos para estimar disponibilidad hídrica en cuencas forestales. *Terra Latinoamericana*, 33(1), 17-26.

Cuevas, P. P. S. (2008). Análisis de la Incertidumbre en la Modelación Hidrológica Mediante el Uso de SIG y GSSHA. *ResearchGate*. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/30756159_Analisis_de_la_Incertidumbre_en_la_Modelacion_Hidrologica_Mediante_el_Uso_de_SIG_y_GSSHA

Di Baldassarre, G., & Montanari, A. (2009). Uncertainty in river discharge observations: a quantitative analysis. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13(6), 913-921. <https://doi.org/10.5194/hess-13-913-2009>

Escobar, Y. C. (2016). Dimensiones para usar metodologías en la estimación de caudales ambientales en Colombia. *Respuestas*, 15(2), 34-46. <https://doi.org/10.22463/r.v15i2.366>

Francisco, C.-A. D. (2015). Aplicación de la distribución de probabilidades no acotada del Sistema Johnson para estimación de crecientes. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(4), 527-537. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.09.005>



- García Parra, B., Eduardo Peña Rojas, L., Barrios, M., & Múnera, J. (2016). Uncertainty of Discharge Estimation in high-grade Andean Streams. *Flow Measurement and Instrumentation*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2016.02.005>
- González García, C. (1989, abril). *Análisis estadístico comparativo de series cronológicas de parámetros de calidad del agua: valoración de diferentes modelos de predicción* (phd). E.T.S.I. Montes (UPM). Recuperado a partir de <http://oa.upm.es/1887/>
- Hosking, J. R. M. (1990). L-Moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 52(1), 105-124.
- Jalbert, J., Mathevet, T., & Favre, A.-C. (2011). Temporal uncertainty estimation of discharges from rating curves using a variographic analysis. *Journal of Hydrology*, 397(1), 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.031>
- Jiménez, P., Andreo, B., Durán, J. ., Carrasco, F., López-Gueta, J. ., Vadillo, I., & Vázquez, M. (2001). R http://aguas.igme.es/igme/publica/sim_aguas_almeria/comunicacion1.pdf
- Juan Carlos Campuzano. (11:13:58 UTC). *Series de Tiempo en R parte I (Series estacionarias)*. Educación. Recuperado a partir de <https://es.slideshare.net/jcampuza/ts-en-r-i>
- Laprida, C., & Valero-Garcés, B. (2009). Cambios ambientales de épocas históricas en la pampa bonaerense en base a ostrácodos: historia hidrológica de la laguna de Chascomús. *Ameghiniana*, 46(1), 95-112.
- Lorente, A., & Portugués, S. B. (1999). Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo Aragonés Occidental. *Geographicalia*, (37), 17-36.
- Morales, N. R., Pereira, J. F. A., & Bolaños, H. S. (2011). FUNCIONES DE REGRESIÓN PARA CAUDALES EXTREMOS EN LA VERTIENTE PACÍFICA DE COSTA RICA. *Journal of Tropical Engineering*, 18(1-2). <https://doi.org/10.15517/ring.v18i1-2.651>



- Muzik, I. (2002). A first-order analysis of the climate change effect on flood frequencies in a subalpine watershed by means of a hydrological rainfall–runoff model. *Journal of Hydrology*, 267(1–2), 65-73. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00140-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00140-3)
- Niu, X.-F. (1997). Extreme value theory for a class of nonstationary time series with applications. *The Annals of Applied Probability*, 7(2), 508-522. <https://doi.org/10.1214/aoap/1034625342>
- O’Laoghaire, D. T. (2012). *Optimal Expansion of a water Resources system*. Elsevier.
- Olden, J. D., & Poff, N. L. (2003). Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. *River Research and Applications*, 19(2), 101-121. <https://doi.org/10.1002/rra.700>
- Otero, P., Ruiz-Villarreal, M., Peliz, Á., & Cabanas, J. M. (2010). Climatology and reconstruction of runoff time series in northwest Iberia: influence in the shelf buoyancy budget off Ría de Vigo. *Scientia Marina*, 74(2), 247-266. <https://doi.org/10.3989/scimar.2010.74n2247>
- Pizarro T, R., Soto B, M., Farias D, C., & Jordan D, C. (2005). Aplicación de dos Modelos de Simulación Integral Hidrológica, para la estimación de caudales medios mensuales, en dos cuencas de Chile central. *Bosque (Valdivia)*, 26(2), 123-129. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002005000200015>
- Riccardi, A. (2000). LA TRANSFORMACION LLUVIA-CAUDAL EN AMBIENTES RURALES Y URBANOS. LOS PROCESOS HIDROLOGICOS Y EL MODELADO. Recuperado 28 de octubre de 2016, a partir de http://www.fceia.unr.edu.ar/curiham/Publicaciones/1997%20Riccardi%202%20Cuad%20CURI%20_1997.pdf
- Rojas Sigala, D., Pérez, G., & Guadalupe, M. (2015). Incertidumbre en los modelos hidrológicos y planeación de obras hidráulicas en México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(2), 69-83.



- Romero, A. E. L., Romero, A. E. L., & Casimiro, W. S. L. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenta Jetepeque, Perú. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 28(3). Recuperado a partir de <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/400>
- Roy, K., Das, R. N., Ambure, P., & Aher, R. B. (2016). Be aware of error measures. Further studies on validation of predictive QSAR models. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 152, 18-33. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2016.01.008>
- Singh, V. P., & Frevert, D. K. (2005). *Watershed Models*. CRC Press.
- Sorooshian, S., Duan, Q., & Gupta, V. K. (1993). Calibration of rainfall-runoff models: Application of global optimization to the Sacramento Soil Moisture Accounting Model. *Water Resources Research*, 29(4), 1185-1194. <https://doi.org/10.1029/92WR02617>
- Sotomayor, A. P. J. (2007). POSSIBILISTIC ANALYSIS OF PREDICTIVE UNCERTAINTY OF WATERSHED MODELS WITH A SNOWMELT RUNOFF COMPONENT [Informe Final Proyecto Iniciación a la Investigación]. Recuperado 21 de octubre de 2016, a partir de <http://dspace2.conicyt.cl/handle/10533/66140>
- Tallaksen, L. M., & Lanen, H. A. J. van. (2004). *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Elsevier.
- Varas C., E., & Uc, D. D. I. H. (2015). FUNDAMENTOS DE PROBABILIDAD Y ESTADISTICA PARA HIDROLOGIA. Recuperado a partir de <http://bibliotecadigital.ciren.cl//handle/123456789/22851>
- Vargas, A., & Monroy, J. C. (2012). Estudio del comportamiento de modelos hidrológicos bajo un análisis de sensibilidad e incertidumbre. Recuperado a partir de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/3478>
- Zucarelli, G. V. (2013). Identificación de eventos hídricos extremos en la cuenca del río Paraná. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(5), 181-187.

6. Anexos.

Anexo 1.

Estadígrafos para las estaciones Yanuncay, Matadero y Mazar.

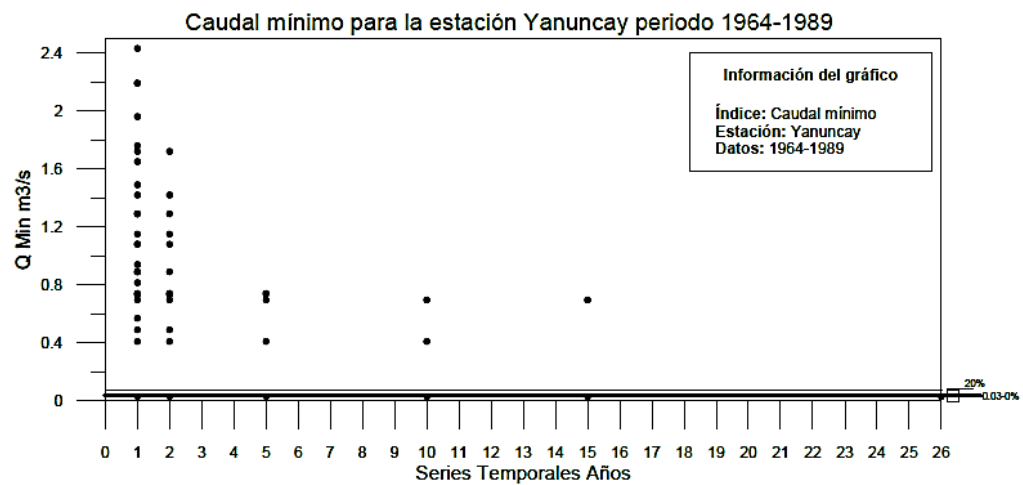


Figura 13: Caudal mínimo estación Yanuncay.

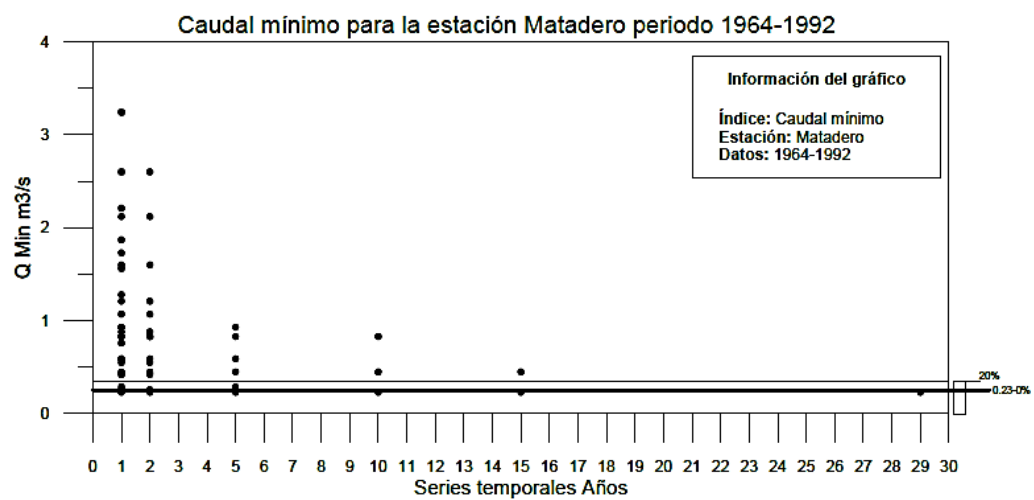


Figura 14: Caudal mínimo estación Matadero.

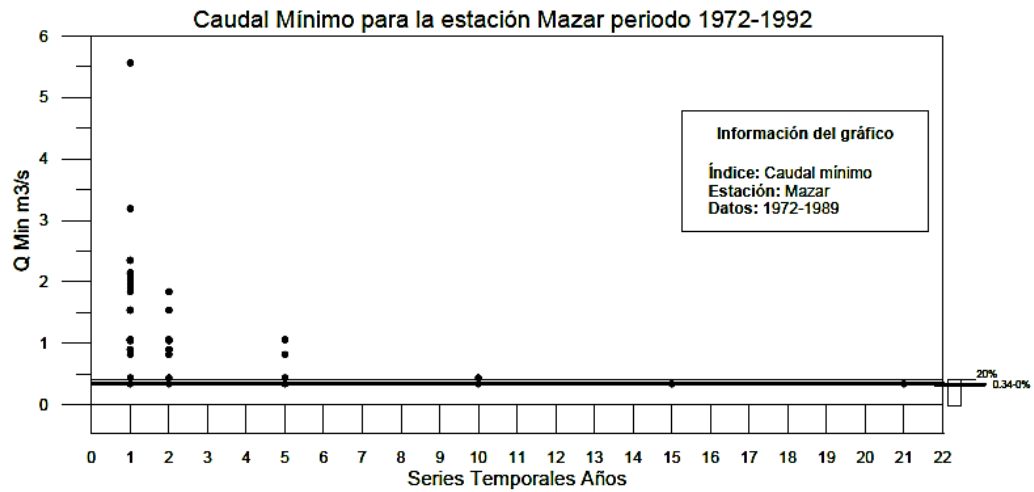


Figura 15: Caudal mínimo estación Mazar.

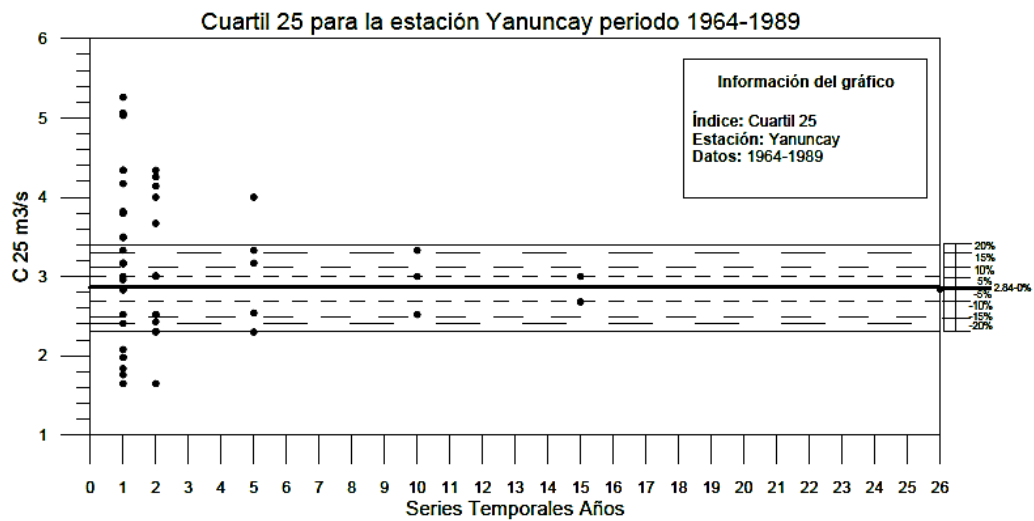


Figura 16: Cuartil 25 para la estación Yanuncay.

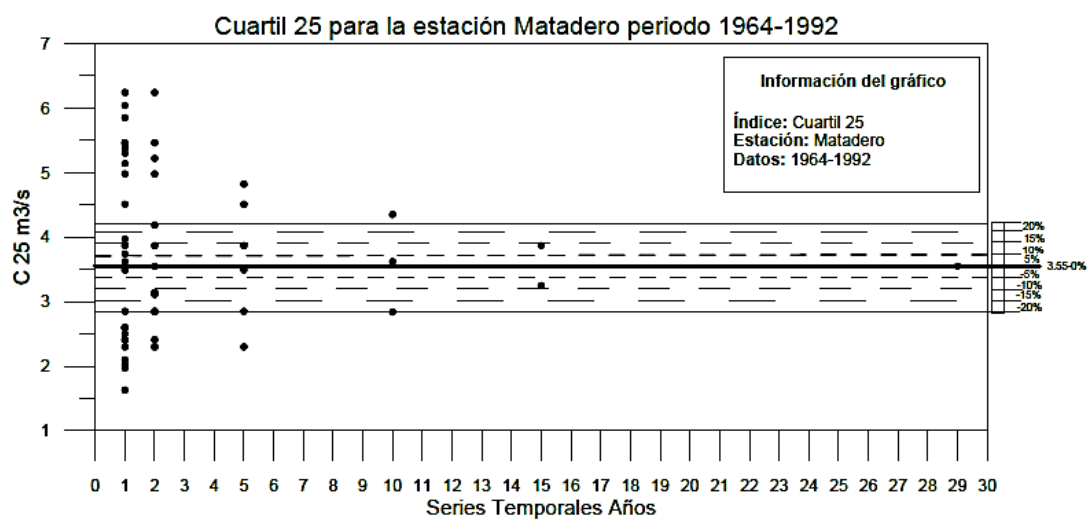


Figura 17: Cuartil 25 para la estación Matadero.

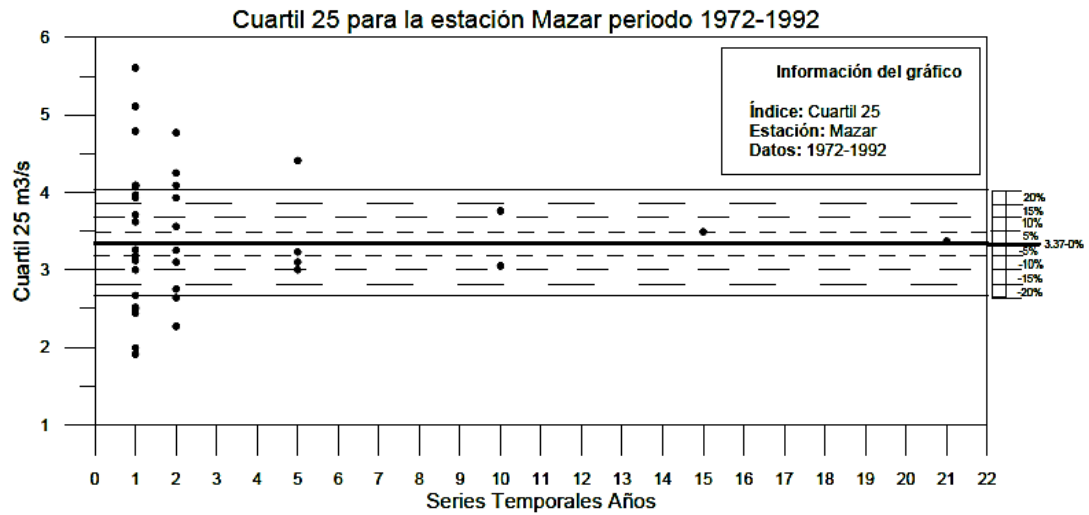


Figura 18: Cuartil 25 para la estación Mazar.

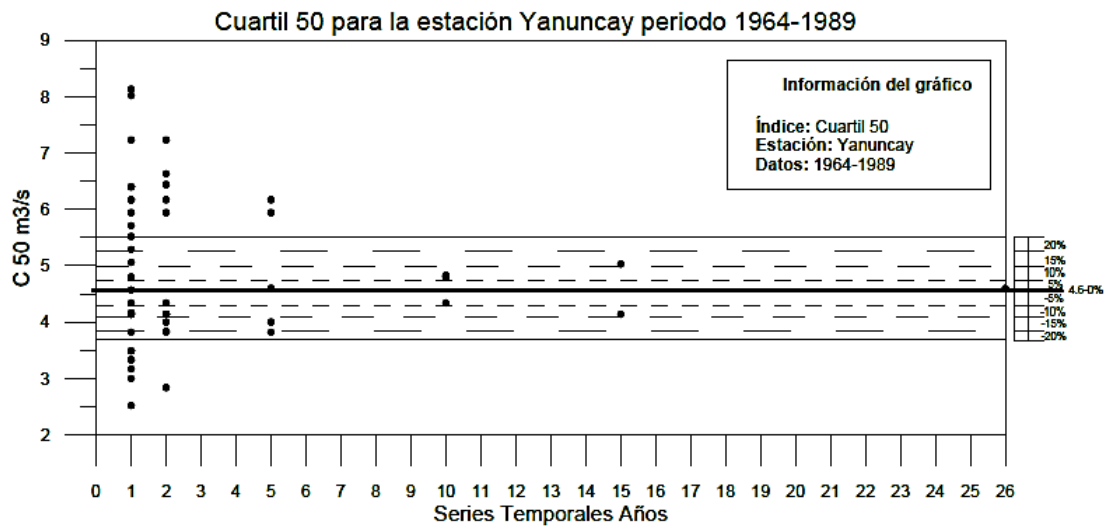


Figura 19: Cuartil 50 para la estación Yanuncay.

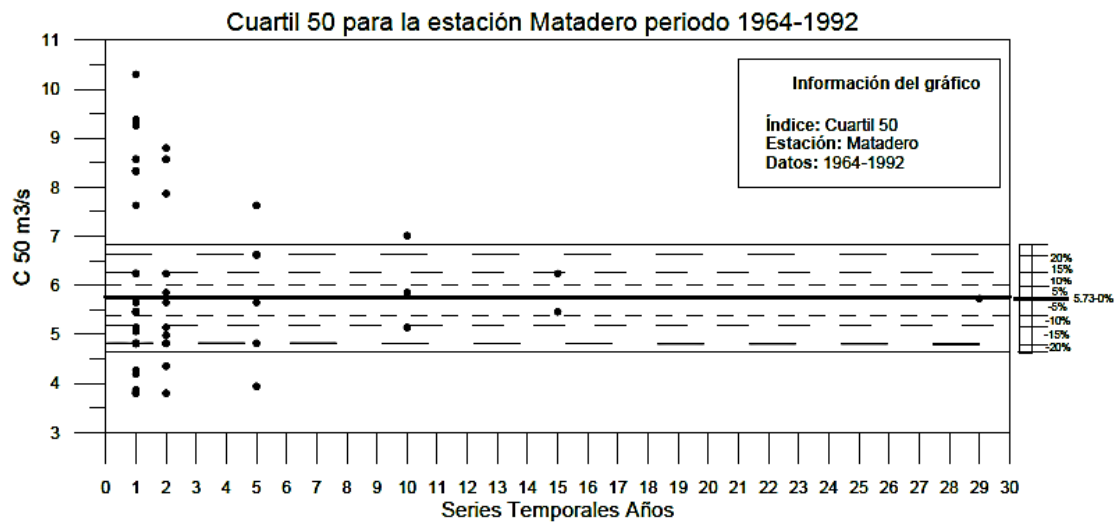


Figura 20: Cuartil 50 para la estación Matadero.

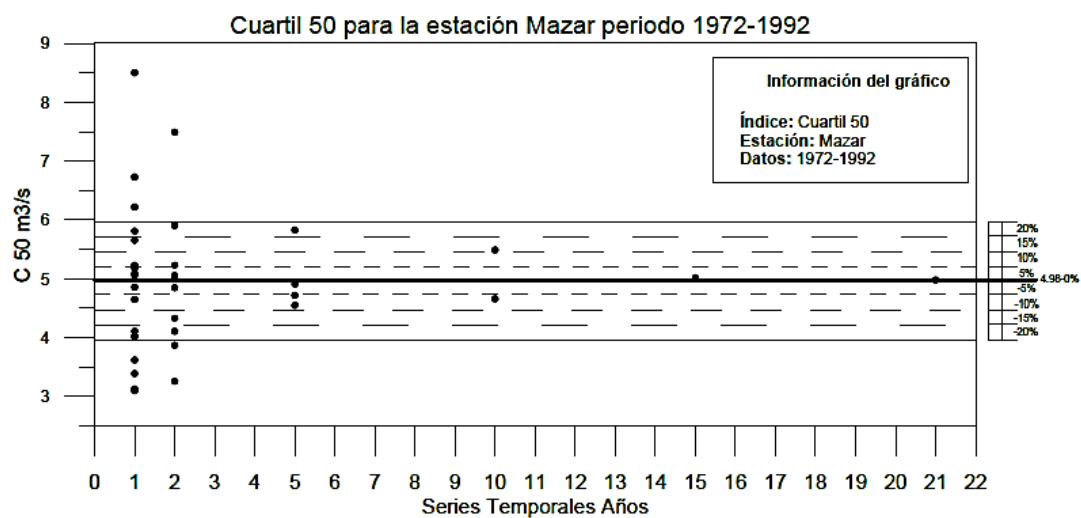


Figura 21: Cuartil 50 para la estación Mazar.

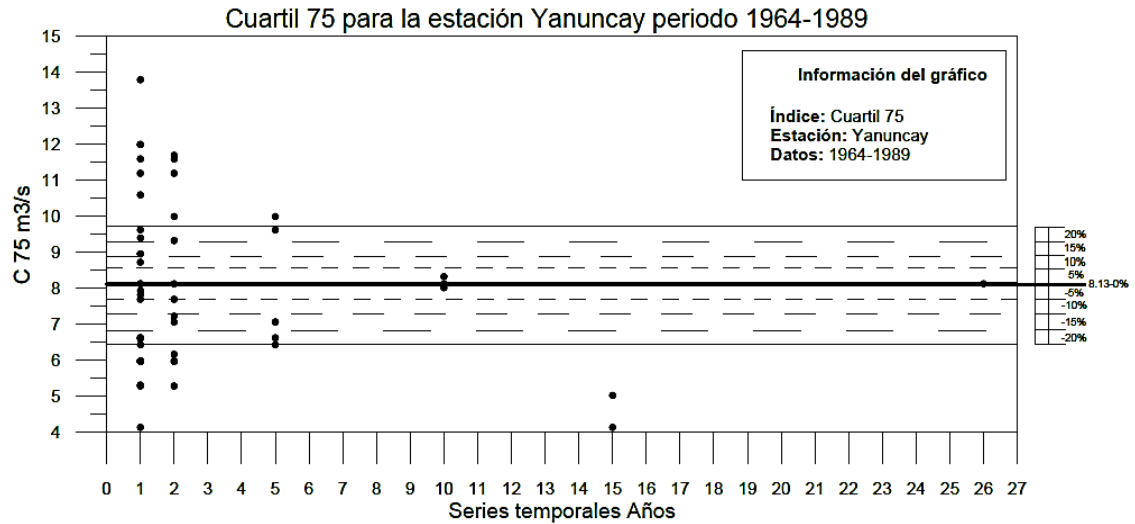


Figura 22: Cuartil 75 para la estación Yanuncay.

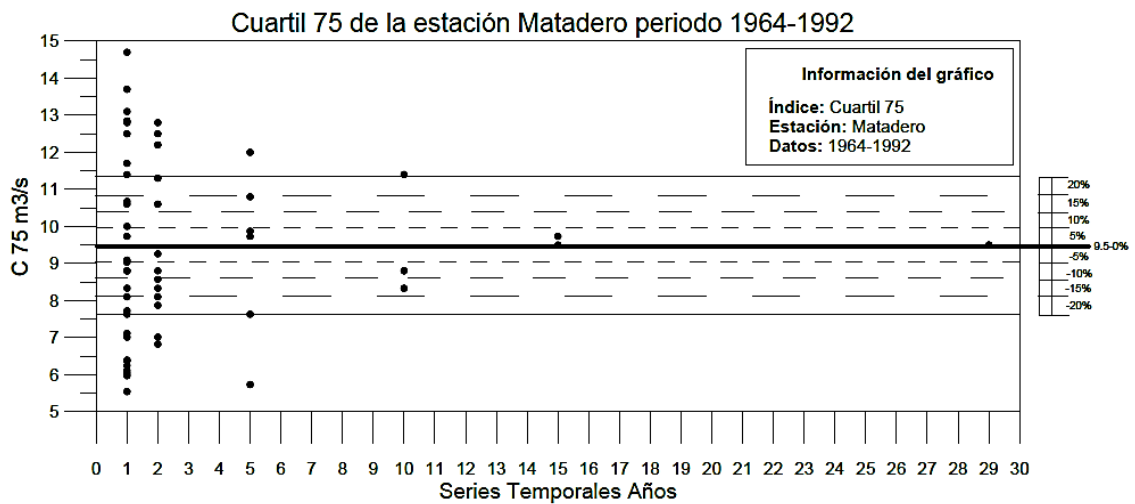


Figura 23: Cuartil 75 para la estación Matadero.

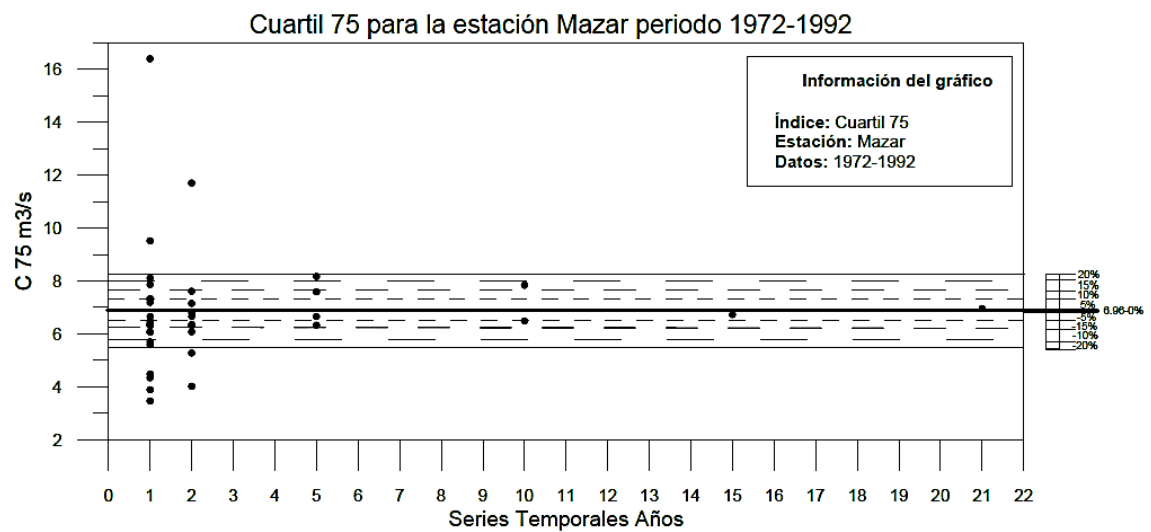


Figura 24: Cuartil 75 para la estación Mazar.

Anexo 2

Tablas de distribución de muestras para cada banda de incertidumbre.

Tabla 16: Intervalo de confianza para el caudal mínimo de la estación Yanuncay.

Caudal mínimo de la serie total para la estación Yanuncay	
QMin=0.03 m3/s	
I. Confianza	20%
%	0.006
QMin+%	0.036
QMin-%	0.024

Tabla 17: Distribución de muestras para la banda 20% para la estación Yanuncay.

Periodo 1964-1989		Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Muestras	Muestras de la banda 20%	Probabilidad de no ocurrencia	Años
1	26	1	25/26	1987
2	25	1	12/13	75, 76
5	22	1	4/5	68, 69, 70, 71, 72
10	17	1	2/3	1966 a 1976
15	12	1	1/2	1965 a 1979
26	1	1	0/26	1964 a 1989

Tabla 18: Intervalo de confianza para el caudal mínimo de la estación Matadero.

Caudal mínimo de la serie total para la estación Matadero	
QMin=0.23 m3/s	
I. Confianza	20%
%	0.0460
C25+%	0.2760
C25-%	0.1840

Tabla 19: Distribución de muestras para la banda 20% para la estación Matadero.

Periodo 1964-1992		Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Muestras	Muestras de la banda 20%	Probabilidad de no ocurrencia	Años
2	28	2	12/14	76 a 77, 77 a 78
5	25	1	5/6	69 a 73
10	20	1	2/3	66 a 75
15	15	1	1/2	65 a 79
29	1	1	100	64 a 92



Tabla 20: Intervalo de confianza para el caudal mínimo de la estación Mazar.

Caudal máximo de la serie total para la estación Mazar	
Qmax=160 m3/s	
I. Confianza	20%
%	32.000
Q Max+%	192.000
Q Max-%	128.000

Tabla 21: Distribución de muestras para la banda 20% para la estación Mazar.

Periodo 1972-1992		Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Muestras	Muestras de la banda 20%	Probabilidad de no ocurrencia	Años
2	20	1	9/10	80 a 82
5	17	1	3/4	75 a 79
10	12	1	1/2	73 a 82
15	7	0	1/1	0
21	1	1	0/1	72 a 92

Tabla 22: Intervalos de confianza para el cuartil 25 de la estación Yanuncay.

Cuartil 25 de la serie total para la estación Yanuncay				
C25=2.84 m3/s				
I. Confianza	5%	10%	15%	20%
%	0.142	0.284	0.426	0.568
C25+%	2.982	3.124	3.266	3.408
C25-%	2.698	2.556	2.414	2.272

Tabla 23: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Yanuncay.

Periodo 1964-1989		Banda de incertidumbre 5%			Banda de incertidumbre 10%			Banda de incertidumbre 15%			Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Total de Muestras	No. de muestras que entran en la banda 5%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 10%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 15%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	26	2	24/26	65, 87	4	22/26	64, 65, 67, 69	5	21/26	64, 65, 67, 69, 80	10	16/26	64, 65, 67, 69, 80, 83, 84, 86, 87, 88
2	25	0	13/13	0	2	11/13	64 a 65, 75 a 76	5	8/13	64 a 65, 65 a 66, 73 a 74, 74 a 75, 75 a 76	7	6/13	64 a 65, 65 a 66, 67, 72 a 73, 73 a 74, 74 a 75, 75 a 76
5	22	0	5/5	0	0	5/5	0	2	3/5	64 a 68, 68 a 72	4	1/5	64 a 68, 66 a 70, 67 a 71, 68 a 72
10	17	0	3/3	0	1	2/3	64 a 74	2	1/3	64 a 73, 65 a 74	3	0/3	64 a 73, 65 a 74, 67 a 76
15	12	0	2/2	0	2	0/2	64 a 78, 65 a 79	2	0/2	64 a 78, 65 a 79	2	0/2	64 a 78, 65 a 79
26	1	1	0/1	87	1	0/1	1964 a 1989	1	0/1	1964 a 1989	1	0/1	1964 a 1989



Tabla 24: Intervalos de confianza para el cuartil 25 de la estación Matadero.

Cuartil 25 de la serie total para la estación Matadero				
C25=3.55 m3/s				
I. Confianza	5%	10%	15%	20%
%	0.178	0.355	0.533	0.710
C25+%	3.728	3.905	4.083	4.260
C25-%	3.373	3.195	3.018	2.840

Tabla 25: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Matadero.

Periodo 1964-1992		Banda de incertidumbre 5%			Banda de incertidumbre 10%			Banda de incertidumbre 15%			Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Total de Muestras	No. de muestras que entran en la banda 5%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 10%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 15%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	29	1	28/29	80	5	24/29	67, 69, 71, 80, 87	7	22/29	64, 67, 69, 71, 80, 86, 87	7	22/29	65, 67, 69, 71, 80, 86, 87
2	28	1	13/14	74 a 75	2	12/14	74 a 75, 75 a 76	4	10/14	64 a 65, 72 a 73, 74 a 75, 75 a 76	6	8/14	65 a 66, 66 a 67, 67 a 68, 72 a 73, 74 a 75, 75 a 76
5	25	1	5/6	68 a 72	2	4/6	67 a 71, 68 a 72	2	4/6	67 a 71, 68 a 72	3	3/6	64 a 68, 67 a 71, 68 a 72
10	20	1	2/3	64 a 73	1	2/3	64 a 73	1	2/3	64 a 73	2	1/3	64 a 73, 66 a 75
15	15	0	2/2	0	2	0/2	64 a 78, 65 a 79	2	0/2	64 a 78, 65 a 79	2	0/2	64 a 78, 65 a 79



29	1	1	0/1	64 a 92	1	0/1	64 a 92	1	0/1	64 a 92	1	0/1	64 a 92
----	---	---	-----	---------	---	-----	---------	---	-----	---------	---	-----	---------

Tabla 26: Intervalos de confianza para el cuartil 25 de la estación Mazar.

Cuartil 25 de la serie total para la estación Mazar				
C25= 3.49 m3/s				
I. Confianza	5%	10%	15%	20%
%	0.169	0.337	0.506	0.674
C25+%	3.539	3.707	3.876	4.044
C25-%	3.202	3.033	2.865	2.696

Tabla 27: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Mazar.

Periodo 1972-1992		Banda de incertidumbre 5%			Banda de incertidumbre 10%			Banda de incertidumbre 15%			Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Total de Muestras	No. de muestras que entran en la banda 5%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 10%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 15%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	21	1	20/21	90	5	16/21	80, 81, 87, 90, 92	6	15/21	72, 80, 81, 87, 90, 92	8	13/21	72, 75, 80, 81, 86, 87, 90, 92
2	20	1	9/10	76 a 77	3	7/10	73 a 74, 76 a 77, 81 a 82	3	7/10	73 a 74, 76 a 77, 81 a 82	5	5/10	72 a 73, 73 a 74, 76 a 77, 78 a 79, 81 a 82
5	17	1	3/4	72 a 76	2	2/4	72 a 76, 75 a 79	3	1/4	72 a 76, 73 a 77, 75 a 79	3	1/4	72 a 76, 73 a 77, 75 a 79
10	12	1	1/2	0	1	1/2	72 a 81	2	0/2	72 a 81, 73 a 82	2	0/2	72 a 81, 73 a 82
15	7	1	0/1	72 a 86	1	0/1	72 a 87	1	0/1	72 a 86	1	0/1	72 a 86
21	1	1	0/1	72 a 92	1	0/1	72 a 92	1	0/1	72 a 92	1	0/1	72 a 92



Tabla 28: Intervalos de confianza para el cuartil 50 de la estación Yanuncay.

Cuartil 50 de la serie total para la estación Yanuncay				
C50=4.6 m3/s				
I. Confianza	5%	10%	15%	20%
%	0.230	0.460	0.690	0.920
C50+%	4.830	5.060	5.290	5.520
C50-%	4.370	4.140	3.910	3.680

Tabla 29: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Yanuncay.

Periodo 1964-1989		Banda de incertidumbre 5%			Banda de incertidumbre 10%			Banda de incertidumbre 15%			Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Total de Muestras	No. de muestras que entran en la banda 5%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 10%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 15%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	26	2	24/26	65, 67	6	20/26	64, 65, 67, 69, 83, 86	8	18/26	64, 65, 67, 69, 80, 83, 84, 86	10	16/26	64, 65, 67, 69, 80, 83, 84, 86, 87, 88
2	25	1	12/13	64 a 65	4	9/13	64 a 65, 72 a 73, 74 a 75, 75 a 76	5	8/13	64 a 65, 65 a 66, 72 a 73, 74 a 75, 75 a 76	7	6/13	64 a 65, 65 a 66, 66 a 67, 72 a 73, 73 a 74, 74 a 75, 75 a 76
5	22	2	3/5	64 a 65, 68 a 69	2	3/5	64 a 68, 68, 72	2	3/5	64 a 68, 68 a 72	3	2/5	64 a 68, 67 a 71, 68 a 72
10	17	2	1/3	64 a 65, 66 a 67	3	0/3	64 a 73, 65 a 74, 66 a 75	3	0/3	64 a 73, 65 a 74, 66 a 75	3	0/3	64 a 73, 65 a 74, 66 a 75



15	12	0	2/2	0	2	0/2	64 a 98, 65 a 79	2	0/2	64 a 78, 65 a 79	2	0/2	64 a 78, 65 a 79
26	1	1	0/1	64 a 89	1	0/1	64 a 89	1	0/1	64 a 89	1	0/1	64 a 89

Tabla 30: Intervalos de confianza para el cuartil 50 de la estación Matadero.

Cuartil 50 de la serie total para la estación Matadero				
C50= 5.73 m3/s				
I. Confianza	5%	10%	15%	20%
%	0.29	0.57	0.86	1.15
C 50+%	6.02	6.30	6.59	6.88
C 50-%	5.44	5.16	4.87	4.58

Tabla 31: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Matadero.

Periodo 1964-1992		Banda de incertidumbre 5%			Banda de incertidumbre 10%			Banda de incertidumbre 15%			Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Total de Muestras	No. de muestras que entran en la banda 5%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 10%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 15%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	29	5	24/29	64, 67, 71, 86, 87	7	22/29	64, 67, 69, 70, 71, 86, 87	9	20/29	64, 65, 67, 69, 70, 71, 80, 86, 87	13	16/29	64, 65, 67, 69, 70, 71, 78, 80, 81, 86, 87, 88, 89
2	28	2	12/14	67 a 68, 75 a 76	4	10/14	64 a 65, 67 a 68, 74 a 75, 75 a 76	5	9/14	64 a 65, 67 a 68, 72 a 73, 74 a 75, 75 a 76	8	6/14	64 a 65, 65 a 66, 66 a 67, 67 a 68, 72 a 73, 74 a 75, 75 a 76
5	25	1	5/6	68 a 72	2	4/6	64 a 68, 67 a 71	2	4/6	64 a 68, 66 a 70	4	2/6	64 a 68, 65 a 69, 67 a 71, 68 a 72



10	20	1	2/3	64 a 73	1	2/3	64 a 73	2	1/3	64 a 73, 65 a 74	2	1/3	64 a 73, 65 a 74
15	15	1	1/2	64 a 78	2	0/2	64 a 78, 65 a 79	2	0/2	64 a 78, 65 a 79	2	0/2	64 a 78, 65 a 79
29	1	1	0/1	64 a 92	1	0/1	64 a 92	1	0/1	64 a 92	1	0/1	64 a 92

Tabla 32: Intervalos de confianza para el cuartil 50 de la estación Mazar.

Cuartil 50 de la serie total para la estación Mazar				
C50= 4.98 m3/s				
I. Confianza	5%	10%	15%	20%
%	0.249	0.498	0.747	0.996
C50+%	5.229	5.478	5.727	5.976
C50-%	4.731	4.482	4.233	3.984

Tabla 33: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Mazar.

Periodo 1972-1992		Banda de incertidumbre 5%			Banda de incertidumbre 10%			Banda de incertidumbre 15%			Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Total de Muestras	No. de muestras que entran en la banda 5%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 10%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 15%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	21	8	13/21	72, 74, 75, 76, 77, 80, 82, 86	8	13/21	74, 75, 76, 77, 80, 82, 86, 89	9	12/21	74, 75, 76, 77, 80, 82, 85, 86, 89	13	8/21	74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 85, 86, 89, 90, 92
2	20	5	5/10	72 a 73, 73 a 74, 74 a 75, 76 a 77, 78 a 79	4	6/10	73 a 74, 74 a 75, 76 a 77, 78 a 79	5	5/10	73 a 74, 74 a 75, 76 a 77, 78 a 79, 80 a 81	8	2/10	72 a 73, 73 a 74, 74 a 75, 75 a 76, 76 a 77, 77 a 78, 78 a 79, 80 a 81



5	17	2	2/4	72 a 76, 75 a 79	3	1/4	72 a 76, 73 a 77, 75 a 79	3	1/4	72 a 76, 73 a 77, 75 a 79	4	0/4	72 a 76, 73 a 77, 74 a 78, 75 a 79
10	12	0	2/2	0	1	1/2	72 a 81	2	0/2	72 a 81, 73 a 82	2	0/2	72 a 81, 73 a 82
15	7	1	0/1	72 a 86	1	0/1	72 a 86	1	0/1	72 a 86	1	0/1	72 a 86
21	1	1	0/1	72 a 92	1	0/1	72 a 92	1	0/1	72 a 92	1	0/1	72 a 92

Tabla 34: Intervalos de confianza para el cuartil 75 de la estación Yanuncay.

Cuartil 75 de la serie total para la estación Yanuncay				
C 75=8.13 m3/s				
I. Confianza	5%	10%	15%	20%
%	0.407	0.813	1.220	1.626
C75+%	8.537	8.943	9.350	9.756
C75-%	7.724	7.317	6.911	6.504

Tabla 35: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Yanuncay.

Periodo 1964-1989		Banda de incertidumbre 5%			Banda de incertidumbre 10%			Banda de incertidumbre 15%			Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Total de Muestras	No. de muestras que entran en la banda 5%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 10%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 15%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	26	4	22/26	64, 67, 80, 81	6	20/26	65, 67, 80, 84	6	20/26	64, 65, 67, 69, 84, 88	13	13/26	64, 65, 67, 68, 69, 72, 74, 77, 80, 83, 84, 86, 88
2	25	1	12/13	64 a 65	2	11/13	64 a 65- 72 a 73	5	8/13	64 a 65- 66 a 67- 70 a 71-	5	8/13	64 a 65- 66 a 67- 70 a 71-



										72 a 73- 74 a 75			72 a 73- 74 a 75
5	22	0	5/5	0	0	5/5	0	1	4/5	68 a 72	3	2/5	64 a 68- 66 a 70- 68 a 72
10	17	3	0/3	64 a 73- 65 a 74- 66 a 75	3	0/3	64 a 73- 65 a 74- 66 a 75	3	0/3	64 a 73- 65 a 74- 66 a 75	3	0/3	64 a 73- 65 a 74- 66 a 75
15	12	0	2/2	0	0	2/2	0	0	2/2	0	0	2/2	0
26	1	1	0/1	64 a 89	1	0/1	64 a 89	1	0/1	64 a 89	1	0/1	64 a 89

Tabla 36: Intervalos de confianza para el cuartil 75 de la estación Matadero.

Cuartil 75 de la serie total para la estación Matadero				
C75= 9.5 m3/s				
I. Confianza	5%	10%	15%	20%
%	0.48	0.95	1.43	1.90
C 75+%	9.98	10.45	10.93	11.40
C 75-%	9.03	8.55	8.08	7.60

Tabla 37: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Matadero.

Periodo 1964-1992		Banda de incertidumbre 5%			Banda de incertidumbre 10%			Banda de incertidumbre 15%			Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Total de Muestras	No. de muestras que entran en la banda 5%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 10%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 15%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	29	4	25/29	64, 65, 70, 81	6	23/29	65, 69, 70, 72, 78, 81	10	19/29	64, 65, 69, 70, 71, 72, 78, 81, 87, 88	13	16/29	64, 65, 69, 70, 71, 72, 73, 78, 80, 81, 86, 87, 88



2	28	1	13/14	64 a 65	3	11/14	64 a 65, 67 a 68, 76 a 77	6	8/14	64 a 65, 67 a 68, 68 a 69, 72 a 73, 75 a 76, 76 a 77	8	6/14	64 a 65, 66 a 67, 67 a 68, 68 a 69, 72 a 73, 74 a 75, 75 a 76, 76 a 77
5	25	3	3/6	64 a 68, 65 a 69, 68 a 72	2	4/6	65 a 68, 68 a 72	3	3/6	65 a 69, 67 a 71, 68 a 72	4	2/6	64 a 68, 65 a 69, 67 a 71, 68 a 72
10	20	0	3/3	0	0	3/3	0	2	1/3	64 a 73, 66 a 75	3	0/3	64 a 73, 65 a 74, 66 a 75
15	15	2	0/2	64 a 73, 65 a 74	2	0/2	64 a 78, 65 a 79	2	0/2	64 a 78, 65 a 79	2	0/2	64 a 78, 65 a 79
29	1	1	0/1	64 a 92	1	0/1	64 a 92	1	0/1	64 a 92	1	0/1	64 a 92

Tabla 38: Intervalos de confianza para el cuartil 75 de la estación Mazar.

Cuartil 75 de la serie total para la estación Mazar				
C75= 6.96 m3/s				
I. Confianza	5%	10%	15%	20%
%	0.348	0.696	1.044	1.392
C 75+%	7.308	7.656	8.004	8.352
C 75-%	6.612	6.264	5.916	5.568

Tabla 39: Distribución de muestras para las bandas de incertidumbre de la estación Mazar.

Periodo 1972-1992		Banda de incertidumbre 5%			Banda de incertidumbre 10%			Banda de incertidumbre 15%			Banda de incertidumbre 20%		
Series Temporales (años)	No. Total de Muestras	No. de muestras que entran en la banda 5%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 10%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 15%	Porcentaje de error %	Años	No. de muestras que entran en la banda 20%	Porcentaje de error %	Años
1	21	3	18/21	75, 76, 89	8	13/21	75, 76, 77, 78, 81, 82, 86, 89	11	9/21	75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83,	14	7/21	74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82,



										86, 89, 90			83, 84, 85, 86, 89, 90, 92
2	20	3	7/10	74 a 75, 77 a 78, 80 a 81	6	4/10	73 a 74, 74 a 75, 75 a 76, 77 a 78, 78 a 79, 80 a 81	7	3/10	73 a 74, 74 a 75, 75 a 76, 76 a 77, 77 a 78, 78 a 79, 80 a 81	7	3/10	73 a 74, 74 a 75, 75 a 76, 76 a 77, 77 a 78, 78 a 79, 80 a 81
5	17	1	3/4	72 a 76	3	1/4	72 a 76, 73 a 77, 74 a 78	3	1/4	72 a 76, 73 a 77, 74 a 78	4	0/4	72 a 76, 73 a 77, 74 a 78, 75 a 79
10	12	0	2/2	0	1	1/2	72 a 81	2	0/2	72 a 81, 73 a 82	2	0/2	72 a 81, 73 a 82
15	7	1	0/1	72 a 86	1	0/1	72 a 86	1	0/1	72 a 86	1	0/1	72 a 86
21	1	1	0/1	72 a 92	1	0/1	72 a 92	1	0/1	72 a 92	1	0/1	72 a 92

Anexo 3

Script diseñado en RStudio para la respectiva programación y cálculo de estadígrafos.

```
rm(list=ls())

## Lectura de archivo

setwd("C:/Users/dante/Desktop/PROGRAMACION_SEPTIEMBRE")

### Nombrar un archivo

data<-read.csv2("Yanuncay.csv")

date <- data[,1] # extracción de fecha

as.POSIXct(date)

day <-data[,2] # extracción de días

month <- data[,3]# extracción de meses

year <- data [,4]# extracción de años

Q <- data [,5] #caudal

summary(Q)

plot (year,Q)

str(data)# Función para ver el data frame

#####

#Generar el vector de grupos de años

#####

vector_series_vector=c(1,2,5,10,15)# Grupo de años

vector_years_all= unique(year)# Función unique saca el unico valor en este caso de los años

x=1

for(x in 1: length(vector_series_vector)){

  i=1

  for(i in 1: round(length(vector_years_all)/vector_series_vector[x],0)){

    ini<-if(i==1){1964}else{g_fin[length(g_fin)]}

    fin<-ini+vector_series_vector[x]

    if(i==1){g_ini<-ini

      g_fin<-fin

    } else {g_ini<-c(g_ini,ini)

      g_fin<-c(g_fin,fin)}

  }##i

}

tab<-data.frame(ini=g_ini,fin=g_fin)
```



```
ini2<-as.Date(paste("01/01/",tab$ini,sep=""),format="%d/%m/%Y")
fin2<-as.Date(paste("01/01/",tab$fin,sep=""),format="%d/%m/%Y")-1
a=1
for(a in 1:length(ini2)){
  Q_select<-data$CAUDAL.m3.s[which(as.Date(data$FECHA,format="%d/%m/%Y")>=ini2[a])[1]:
    which(as.Date(data$FECHA,format="%d/%m/%Y")<=fin2[a])[
      length(which(as.Date(data$FECHA,format="%d/%m/%Y")<=fin2[a]))]]
  sta<-mean(Q_select)
  dat2<-data.frame(fecha_ini=ini2[a],fecha_fin=fin2[a],sta)
  if(a==1){cat<-dat2}else {cat<-rbind(cat,dat2)}
}##a
nombre<-vector_series_vector[x]
write.csv(cat,paste("C:/Users/dante/Desktop/PROGRAMACION_SEPTIEMBRE/", "Yanuncay_",nombre,".c
sv",sep=""))
}##x
```